

**Plan neutralizacji określający planowane
metody neutralizacji zalanych materiałów
niebezpiecznych, z uwzględnieniem wpływu
planowanej działalności m.in. na stan
środowiska morskiego**

GŁĘBIA GDAŃSKA



Numer referencyjny dokumentu

IM_5926_PNZ_001_PL_02

Numer projektu

5926

Rewizja

02

Data wysłania

2026-06-24

Działania pomiarowe oraz badawcze dotyczące rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego dla lokalizacji w obszarze: Głębia Gdańska

Dokument: Plan neutralizacji określający planowane metody neutralizacji zalanych materiałów niebezpiecznych, z uwzględnieniem wpływu planowanej działalności m.in. na stan środowiska morskiego

Rewizja **02**

Data **2026-06-24**

Opracowali	Jacek Fabisiak	<i>Jacek Fabisiak</i>
	Edyta Łońska,	<i>Edyta Łońska</i>
	Jarosław Michalak	<i>Jarosław Michalak</i>
	Artur Cywiński	<i>Artur Cywiński</i>
	Tomasz Kostecki	<i>Tomasz Kostecki</i>
	Rafał Miętkiewicz	<i>Rafał Miętkiewicz</i>
	Magdalena Matczak	<i>Magdalena Matczak</i>
	Radosław Opiota	<i>Radosław Opiota</i>
	Benedykt Hac	<i>Benedykt Hac</i>
Sprawdził	Natalia Kaczmarek	<i>Natalia Kaczmarek</i>
	Kamila Szeniawska	<i>Kamila Szeniawska</i>
	Teresa Moroz-Kunicka	<i>Teresa Moroz-Kunicka</i>
	Mateusz Kunicki	<i>Mateusz Kunicki</i>
Zatwierdził	Radosław Opiota	<i>Radosław Opiota</i>

**Instytut Morski Uniwersytet
Morski w Gdyni**
ul. Roberta de Plelo 20
80-548 Gdańsk
www.im.umg.edu.pl

MEWO S.A.
ul. Starogardzka 17A
83-010 Straszyn
www.mewo.eu

Akademia Marynarki Wojennej
ul. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia
www.amw.gdynia.pl

HISTORIA ZMIAN

Rewizja	Data wydania	Powód wydania dokumentu
1.	13.04.2026	Część I PNZ – wersja podstawowa
2.	24.06.2026	Wersja ostateczna

DOKUMENTACJA POWIĄZANA

Lp.	Tytuł	Numer referencyjny	Data wydania
1.	Opis przedmiotu zamówienia	Załącznik nr 1 do Umowy nr PM.372.3.2025.JG	11.03.2025 r.
2.	Plan QHSE	IM_5928_PQ_001_PL	Rewizja wewnętrzna
3.	Plan ERP	IM_5928_PE_001_PL	Rewizja wewnętrzna

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE.....	17
Tło problemu (synteza)	17
Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń	18
Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń.....	20
Syntetyczny opis badanego obszaru	21
CZĘŚĆ I – ANALIZA WSTĘPNA.....	26
1 ZATOPIONE MATERIAŁY NIEBEZPIECZNE	26
1.1 Opis i ocena stanu.....	27
1.1.1 Broń chemiczna	27
1.1.2 Broń konwencjonalna	38
1.1.3 Ocena stanu technicznego amunicji	56
1.2 Wpływ na środowisko	60
1.2.1 Uwarunkowania przyrodnicze Zatoki i Głębi Gdańskiej	60
1.2.2 Zachowanie się BST i MW w wodzie morskiej	61
1.2.3 Skutki obecności BST i MW w morzu.....	65
2 ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE	67
2.1 Podstawa prawna – wybrane akty normatywne.....	67
2.1.1 Prawo krajowe	67
2.1.2 Prawo międzynarodowe	68
2.2 Prawne aspekty neutralizacji zatopionej w Morzu Bałtyckim broni chemicznej.....	68
2.2.1 Prawo międzynarodowe – wybrane źródła prawa.....	68
2.2.2 Prawo krajowe – wybrane	70
2.3 Wnioski	72
3 TECHNOLOGIE NEUTRALIZACJI I REMEDIACJI	74
3.1 Metody neutralizacji zatopionej amunicji konwencjonalnej. Ogólna charakterystyka stosowanych technik neutralizacji zatopionej amunicji konwencjonalnej. Sposoby wykorzystania ROV dostępnych i użytkowanych w kraju	74
3.1.1 Neutralizacja przy udziale nurków	78
3.1.2 Neutralizacja przy użyciu pojazdu podwodnego.....	80
3.1.3 Wydobycie i neutralizacja	84
3.2 Neutralizacja amunicji chemicznej – skrócona analiza metod	85
3.2.1 Likwidacja <i>in situ</i>	86
3.2.2 Instalacje do niszczenia broni chemicznej	88
3.2.3 Technologie przyszłości.....	93
3.2.4 Rozwiązanie stosowane w wojsku	94
4 STUDIA PRZYPADKÓW	94
4.1 Studium przypadku nr 1. Japonia – Port Kanda (wydobycie i neutralizacja).....	95

4.2 Studium przypadku nr 2. Japonia – porzucona broń chemiczna w Chinach (masowa neutralizacja lądowa – zakopana i zatopiona w rzekach i jeziorach)	96
4.3 Studium przypadku nr 3. Stany Zjednoczone – Johnston Atoll (JACADS) (przemysłowa neutralizacja zapasów lądowych).....	97
4.4 Studium przypadku nr 4. Kanada – przegląd i monitoring (strategia oceny ryzyka)	98
4.5 Studium przypadku nr 5. Belgia – ciągłe wydobywanie i neutralizacja	100
4.6 Studium przypadku nr 6. Morze Adriatyckie – brak interwencji	101
4.7 Morze Bałtyckie	101
5 SZACOWANIE KOSZTÓW	102
5.1 Analiza danych historycznych.....	102
5.1.1 Analiza kosztów neutralizacji amunicji chemicznej i BST	102
6 ANALIZA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM	110
6.1 Analiza ryzyka.....	110
6.1.1 Wnioski	131
6.2 Rekomendacje.....	132
6.3 Zarządzanie ryzykiem	134
Część II	136
7 WYNIKI BADAŃ – PODSUMOWANIE I REKOMENDOWANA STRATEGIA POSTĘPOWANIA	136
7.1 Opis stanu obszaru.....	136
7.2 Rozpoznanie zagrożenia ze strony amunicji konwencjonalnej i BST	151
7.3 Podsumowanie i rekomendacje	154
8 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM	155
9 WPŁYW PLANOWANEJ DZIAŁALNOŚCI M.IN. NA STAN ŚRODOWISKA MORSKIEGO	159
10 MONITORING ŚRODOWISKA	162
11 SZACOWANIE KOSZTÓW REKOMENDOWANYCH DZIAŁAŃ.....	168
12 STRESZCZENIE W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM	172
12.1 Cel opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń	172
12.2 Metodologia opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń	173
12.3 Charakterystyka badanego obszaru	173
12.4 Wyniki badań i rozpoznane potencjalne zagrożenia	174
12.5 Ocena ryzyka i rekomendowany sposób postępowania	175
12.6 Monitoring środowiska i działania organizacyjne	175
13 BIBLIOGRAFIA	177

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1.	Lokalizacja Obszaru badań (źródło: opracowanie własne).....	22
Rysunek 2.	Mapa Obszaru badań na tle uwarunkowań przestrzennych (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM).....	23
Rysunek 3.	Mapa Obszaru badań na tle wydzieleń PZPPOM (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM)	25
Rysunek 4.	Rejony zatapiania broni chemicznej w Morzu Bałtyckim (źródło: Bełdowski i in., 2014).....	29
Rysunek 5.	Lokalizacja amunicji i wraków zatopionych w polskich obszarach morskich (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)	34
Rysunek 6.	Składowisko broni chemicznej w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: HELCOM, 2013)	38
Rysunek 7.	Zagrody minowe oraz rejony minowania prowadzone na Zatoce Gdańskiej w czasie II wojny światowej (źródło: Centrum Wojny Minowej COM-DKM)	40
Rysunek 8.	Obszary 27, 28 oraz 29 prowadzenia minowania przez lotnictwo brytyjskie (Gardening) (źródło: fragm. Wikstrom J., 2007.).....	41
Rysunek 9.	Mina A Mark VI w pobliżu wejścia do portu handlowego Gdynia (źródło: zbiory własne autora – 13. Dywizjon Trałowców)	43
Rysunek 10.	Mina Mark IV podjęta na pokład niszczyciela min (źródło: zbiory własne autora – 13. Dywizjon Trałowców).....	43
Rysunek 11.	Mina morska typu GC (źródło: www.iwm.org.uk/collections/item/object/30020471 ; dostęp: 05.05.2015).....	47
Rysunek 12.	Szacunkowy udział amunicji wg pochodzenia w Zatoce Gdańskiej (źródło: opracowanie własne)	49
Rysunek 13.	Wybrane obiekty niebezpieczne zneutralizowane w rejonie Świnoujścia: a) mina brytyjska Mark VI; b) mina brytyjska Mark IV; c) US AN-M65 amerykańska bomba lotnicza; d) niemiecka bomba głębinowa (źródło: materiały własne autora)	52
Rysunek 14.	Metody neutralizacji zatopionej amunicji (źródło: opracowanie własne)	77
Rysunek 15.	Proces utylizacji amunicji (źródło: opracowanie własne na podstawie Şahin & Dereli, 2022)	88
Rysunek 16.	Algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem – Scenariusz 2. Połowy denne i zaciągnięcia (źródło: opracowanie własne)	117
Rysunek 17.	Algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem – Scenariusz 1. Prace podmerskie (źródło: opracowanie własne).....	119
Rysunek 18.	Diagram FTA dla Scenariusza 1 (źródło: opracowanie własne)	121
Rysunek 19.	Diagram ETA dla Scenariusza 1 (źródło: opracowanie własne)	122
Rysunek 20.	Diagram FTA dla Scenariusza 2 (źródło: opracowanie własne)	122
Rysunek 21.	Diagram ETA dla Scenariusza 2 (źródło: opracowanie własne)	123
Rysunek 22.	Diagram FTA dla Scenariusza 3 (źródło: opracowanie własne)	124
Rysunek 23.	Diagram ETA dla Scenariusza 3 (źródło: opracowanie własne)	124
Rysunek 24.	Diagram FTA dla Scenariusza 4 (źródło: opracowanie własne)	125
Rysunek 25.	Diagram ETA dla Scenariusza 4 (źródło: opracowanie własne)	125

Rysunek 26.	Diagram FTA dla Scenariusza 5 (źródło: opracowanie własne)	126
Rysunek 27.	Diagram ETA dla Scenariusza 5 (źródło: opracowanie własne)	126
Rysunek 28.	Diagram FTA dla Scenariusza 6 (źródło: opracowanie własne)	127
Rysunek 29.	Diagram ETA dla Scenariusza 6 (źródło: opracowanie własne)	127
Rysunek 30.	Schemat procesu zarządzania ryzykiem w odniesieniu do amunicji (źródło: opracowanie własne)	135
Rysunek 31.	Mapa batymetryczna obszaru Głębia Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)	137
Rysunek 32.	Mapa występowania obiektów na dnie obszaru Głębia Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)	139
Rysunek 33.	Wrak zidentyfikowany jako WK-0159 Fryderyk Engels oraz szczątki; po lewej stronie fragment mapy batymetrycznej, po prawej stronie fragment mozaiki sonarowej (źródło: Badania 2025–2026).....	140
Rysunek 34.	Przykładowy obiekt – szczątki; po lewej stronie fragment mapy batymetrycznej, po prawej stronie fragment mozaiki sonarowej (źródło: Badania 2025–2026)	140
Rysunek 35.	Schemat przygotowania próbek do analizy chromatograficznej (źródło: Badania 2025–2026)	144
Rysunek 36.	Miejsca zidentyfikowania potencjalnych produktów degradacji BST (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026).....	146
Rysunek 37.	Miejsca wykrycia produktów degradacji iperytu siarkowego (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026)	148
Rysunek 38.	Miejsce wykrycia produktu degradacji adamsytu (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026).....	149
Rysunek 39.	Miejsca występowania produktów degradacji arsen oil lub/i Clark I (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026).....	151
Rysunek 40.	Wykrycia produktów degradacji BST, wskazania potencjalnych UXO z badań SSS oraz punkty inspekcji wizyjnej ROV (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026).....	152
Rysunek 41.	Zidentyfikowane obiekty UXO w lokalizacji GG02_ROV13 (źródło: Badania 2025–2026)	153
Rysunek 42.	Zidentyfikowane obiekty UXO w lokalizacji GG01_ROV14 (źródło: Badania 2025–2026)	153
Rysunek 43.	Porośnięte głazy w lokalizacji GG06_ROV03, otoczenie z pozytywnym wynikiem na obecność BST (źródło: Badania 2025–2026).....	154
Rysunek 44.	Lokalizacja wykryć produktów degradacji BST oraz rekomendowanych nowych punktów monitoringu w ramach PMS dla obszaru Głębi Gdańskiej na tle obszarów chronionych (źródło: opracowanie własne na bazie Badania 2025–2026 oraz danych GDOŚ)	160

SPIS TABEL

Tabela 1.	Bojowe środki trujące wyprodukowane w Niemczech w latach 1935–1945 (źródło: Kasperek, 2000).....	27
Tabela 2.	Amunicja chemiczna i BST zarekwirowane przez aliantów na terenie III Rzeszy Niemieckiej (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997).....	27
Tabela 3.	Rodzaje BST i amunicji chemicznej zatopionych przez NRD po 1952 r. (źródło: HELCOM, 2013)	28

Tabela 4.	Masa amunicji, masa i rodzaje BST zatopione w Morzu Bałtyckim (źródło: Kasperek, 2000).....	29
Tabela 5.	Rodzaje i masa BST zatopionych przez Rosjan w Bałtyku (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997) ..	30
Tabela 6.	Rodzaje i liczba amunicji zatopionej przez Rosjan w Bałtyku (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)	31
Tabela 7.	Akweny w polskich obszarach morskich, w których występuje ryzyko kontaktu z bojowymi środkami trującymi (źródło: opracowano na podstawie: A. Styczyński, na podstawie materiałów Szefostwa OPChem Sztabu Dowództwa Marynarki Wojennej RP, 2004; HELCOM 2013; J. Bełdowski i in., CHEMSEA FINDINGS – results from the chemsea project – chemical munitions search and assessment, Instytut Oceanologii PAN, Sopot, 2014).....	32
Tabela 8.	Współrzędne amunicji i wraków zatopionych w polskich obszarach morskich (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)	33
Tabela 9.	Kalendarium incydentów z wyłowieniem (wyrzuceniem na plażę) amunicji chemicznej (BST) w polskich i sąsiadujących obszarach morskich (stan na 31.10.2018 r.) (źródło: S. Neffe (red.), Raport końcowy dotyczący kwestii zawartych w decyzjach nr 23 i 24, podjętych na 1 spotkaniu Grupy Ekspertkiej dotyczącej aktualizacji i rewizji dostępnych informacji o zatopionej broni chemicznej w Morzu Bałtyckim „HELCOM MUNI 1/2010”, Warszawa, 2011, s. 4–5).....	35
Tabela 10.	Charakterystyka obszaru zatopień w Głębi Gdańskiej (źródło: HELCOM, 2013)	38
Tabela 11.	Szacunkowa liczba min morskich na Morzu Bałtyckim (źródło: opracowanie własne na podstawie: Möller i Edfors, 2007; Nillson, 2017; HELCOM, 2018; Szczerkowski, 1965; Karwan, 2009)	39
Tabela 12.	Numery oraz oznaczenia kodowe stref minowania (wybrane) (źródło: Smith, 2016)	41
Tabela 13.	Szacunki liczby min brytyjskich w Zatoce Gdańskiej (źródło: Pitchfork, 2009)	42
Tabela 14.	Główne typy min brytyjskich stosowanych w Zatoce Gdańskiej (źródło: Pitchfork, 2009)	42
Tabela 15.	Opis brytyjskiej miny dennej Mk I–IV (źródło: opracowanie własne z realizowanych wcześniej prac projektowych).....	44
Tabela 16.	Opis brytyjskiej miny dennej Mk VI (źródło: opracowanie własne z realizowanych wcześniej prac projektowych).....	45
Tabela 17.	Niemieckie zagrody minowe na akwenie Zatoki Gdańskiej (źródło: Janik, 2011)	46
Tabela 18.	Charakterystyka materiałów wybuchowych stosowanych w minach morskich (źródło: MON, 2012)	46
Tabela 19.	Podstawowe dane taktyczno-techniczne niekontaktowej miny dennej GC (źródło: www.iwm.org.uk ; dostęp: 02.07.2015)	47
Tabela 20.	Typy amunicji potencjalnie zalegającej na dnie Głębi Gdańskiej (źródło: Waśko, 1974)	48
Tabela 21.	Materiały wybuchowe zawarte w amunicji zalegającej na dnie (źródło: NO-07-A108, Procedury działań morskich. Działania przeciwminowe. Zastosowanie niszczycieli min; Cichocki, 2016)....	49
Tabela 22.	Wykaz min zneutralizowanych w Zatoce Gdańskiej w wybranych okresach (źródło: N.K. Zagrożenie minowe w 25 lat po wojnie, Przegląd Morski, nr 1, 1971, s. 40; D. Grabiec, A. Komorowski, J. Kuliś, P. Mickiewicz, I. Pomian, A. Szulczewski, Obiekty podwodne i militaria Zatoki Gdańskiej, Wydawnictwo Diecezji Pelplińskiej Bernardinum, Gdynia 2001, s. 112 i 139, dane z zadań niszczenia obiektów niebezpiecznych).....	50
Tabela 23.	Obiekty zneutralizowane w polskich obszarach morskich (2019–2020) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych publicznych)	51

Tabela 24.	Rodzaje amunicji konwencjonalnej wykryte w lokalizacji Głębia Gdańska (źródło: opracowanie własne).....	54
Tabela 25.	Wpływ różnych procesów korozyjnych na stan techniczny zatopionej amunicji (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)	57
Tabela 26.	Szacunkowy czas uwalniania iperytu z amunicji chemicznej od momentu jej zatopienia (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997).....	58
Tabela 27.	Charakterystyka wybranych BST zatopionych w Bałtyku (na Głębi Gdańskiej)	67
Tabela 28.	Wartości toksyczności ostrej (LC ₅₀ /EC ₅₀) dla wybranych substancji zatopionych w Bałtyku (na Głębi Gdańskiej)	67
Tabela 29.	Podstawy prawne dla neutralizacji amunicji chemicznej na plaży (źródło: opracowanie własne).....	73
Tabela 30.	Transport do portu (źródło: opracowanie własne)	73
Tabela 31.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody detonacja (źródło: opracowanie własne)	78
Tabela 32.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody deflagracja (źródło: opracowanie własne).....	79
Tabela 33.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacji przy użyciu ROV (źródło: opracowanie własne)	83
Tabela 34.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacji za pomocą zdalnie sterowanego, samobieżnego ładunku wybuchowego jednorazowego użytku (źródło: opracowanie własne) ..	84
Tabela 35.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody separacja (źródło: opracowanie własne)	86
Tabela 36.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody detonacja broni chemicznej in situ (źródło: opracowanie własne).....	87
Tabela 37.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody wydobywanie broni chemicznej (źródło: opracowanie własne)	89
Tabela 38.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody wiercenie (źródło: opracowanie własne).....	90
Tabela 39.	Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komora detonacji statycznej (źródło: opracowanie własne).....	91
Tabela 40.	Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komory kontrolowanej detonacji (źródło: opracowanie własne).....	92
Tabela 41.	Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacja chemiczna (źródło: opracowanie własne) ..	92
Tabela 42.	Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia zatopionej w broni chemicznej w Porcie Kanda w Japonii (źródło: (Asahina, 2009)).....	95
Tabela 43.	Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia broni chemicznej w Chinach (źródło: Notman, 2014, Embassy of the People's Republic of China, 2023)	97
Tabela 44.	Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia broni chemicznej w USA (źródło: Global Security, 2011; Maclellan, 2005).....	98
Tabela 45.	Wybrane parametry charakteryzujące podejście do niszczenia broni chemicznej w Kanadzie (źródło: Ross, 2017, ISSUES – OCEAN DRILLING: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns..., 2002, Rubiano, 2021) ...	99
Tabela 46.	Wybrane parametry charakteryzujące podejście do niszczenia broni chemicznej w Belgii (źródło: HELCOM, 2013; Zanders, 1997)	100

Tabela 47.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – separacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	104
Tabela 48.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – detonacja in situ (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	104
Tabela 49.	Koszty wydobycia amunicji chemicznej lub BST (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	105
Tabela 50.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – wiercenie (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	105
Tabela 51.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – komora detonacji statycznej (SDC) (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	106
Tabela 52.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – komora kontrolowanej detonacji (CDC) (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	106
Tabela 53.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – chemiczna neutralizacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	107
Tabela 54.	Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – rozwiązanie stosowane w wojsku (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	108
Tabela 55.	Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – detonacja in situ (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	108
Tabela 56.	Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – deflagracja ładunkiem kumulacyjnym (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	108
Tabela 57.	Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – wydobycie i neutralizacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)	109
Tabela 58.	Scenariusz S1. Prace podmorskie (źródło: opracowanie własne)	112
Tabela 59.	Scenariusz S2. Połowy i zaciągnięcia (źródło: opracowanie własne)	113
Tabela 60.	Scenariusz S3. Powolne uwalnianie do środowiska (źródło: opracowanie własne)	114
Tabela 61.	Scenariusz S4. Sztorm/awarie/odsłonięcia (źródło: opracowanie własne)	114
Tabela 62.	Scenariusz S5. Operacje neutralizacji (źródło: opracowanie własne)	114
Tabela 63.	Scenariusz S6. Indywidualna eksploracja dna – kontakt z zatopioną bronią chemiczną (podwodne pojazdy prywatne/DIY) – perspektywa długoterminowa (źródło: opracowanie własne)	115
Tabela 64.	Macierz ryzyka na lata 2027–2030 (źródło: opracowanie własne)	116
Tabela 65.	Macierz ryzyka dla zagrożeń Głębi Gdańskiej na lata 2027–2057 (źródło: opracowanie własne)	118
Tabela 66.	Przykładowe zdarzenia dla poszczególnych scenariuszy (źródło: opracowanie własne)	129
Tabela 67.	Wyniki symulacji Monte Carlo – straty roczne (mln PLN) (źródło: opracowanie własne)	129
Tabela 68.	Wyniki dla portfela scenariuszy S1–S6 (źródło: opracowanie własne)	130
Tabela 69.	Klasyfikacja obiektów znajdujących się na dnie obszaru Głębi Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)	138

Tabela 70.	Zestawienie badanych związków chemicznych z granicą oznaczalności (źródło: Badania 2025–2026).....	142
Tabela 71.	Syntetyczne zestawienie potencjalnych oddziaływań planowanych działań na środowisko morskie oraz otoczenie społeczno-gospodarcze (źródło: opracowanie własne)	161
Tabela 72.	Propozycja nowych stacji w ramach PMŚ dla obszaru Głębi Gdańskiej (źródło: opracowanie własne).....	165
Tabela 73.	Szacunkowe koszty rekomendowanych działań zarządczych i monitorujących (źródło: opracowanie własne)	168

DEFINICJE SKRÓTÓW I POJĘĆ

Skrót/pojęcie	Znaczenie
2-ADNT	2-amino-4,6-dinitrotoluen – produkt biodegradacji trotylu
4-ADNT	4-amino-2,6-dinitrotoluen – produkt biodegradacji trotylu
ACN	acetonitryl
adamsyt (DM)	chlorek fenarsazyny, arsenoorganiczny BST
ALARP	racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem, zgodnie z zasadą: tak nisko, jak to rozsądne/racjonalnie wykonalne (as low as reasonably practicable)
AMW	Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte
amunicja ¹	nabój scalony do strzeleckiej broni palnej naboje do broni palnej innej niż strzelecka broń palna, pociski kierowane, pociski raketowe, miny, bomby, granaty, torpedy, głowice, zapalniki, ładunki, lonty i środki pozoracji pola walki inne środki przeznaczone do niszczenia lub obezwładniania osób lub obiektów, a także do celów pozoracyjnych, ćwiczebnych, szkolno-treningowych, badań lub sportowych komponenty amunicji zawierające materiały wybuchowe, chemiczne środki obezwładniające lub zapalające albo inne substancje, których działanie zagraża życiu lub zdrowiu, a także materiał wybuchowy miotający w postaci prochu komponenty amunicji niezawierające materiałów wybuchowych: korpusy pocisków amunicji artyleryjskiej, łuski amunicji artyleryjskiej, kadłuby min, elementy układów napędowych, naprowadzania i sterowania pocisków raketowych, bomb lotniczych i głębinowych, torped i imitatorów celów
anoksja	całkowity brak tlenu rozpuszczonego w wodzie
API	„łącznik”, który pozwala jednemu programowi automatycznie pobierać dane z drugiego (Application Programming Interface).
as-found	jak znaleziono – dokumentacja stanu faktycznego przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac
as-build	dokumentacja powykonawcza – raport pokazujący stan po zakończeniu prac
AtoN	środki nawigacyjne (Aids to Navigation)
AUV	autonomiczny pojazd podwodny (Autonomous Underwater Vehicle)
AXO ²	porzucone materiały wybuchowe – materiały wybuchowe, który nie zostały wykorzystane podczas konfliktu zbrojnego, zostały pozostawione lub porzucone przez stronę konfliktu i nie są już pod kontrolą tej strony, która je pozostawiła lub porzuciła
baryłka	jednostka miary używana do określenia objętości ropy naftowej (~ 159 dm ³)
BAT/BEP	najlepsze dostępne techniki i praktyki środowiskowe (Best Available Techniques / Best Environmental Practices)
BCF	współczynnik biokoncentracji; miara tendencji substancji chemicznej do kumulowania się w organizmie (Bioconcentration Factor)
bentos	zespół organizmów zamieszkujących dno zbiorników wodnych
BHMW	Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej

¹Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 lipca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym (Dz.U. 2023 poz. 1743), art. 3.1.

²Usuwanie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych.

Skrót/pojęcie	Znaczenie
bioakumulacja	proces gromadzenia się substancji chemicznej w organizmie żywym
biomagnifikacja	proces wzrostu stężenia toksycznej substancji w organizmach na kolejnych poziomach łańcucha pokarmowego
Bow-Tie Analysis	wizualna metoda zarządzania ryzykiem, która mapuje przyczyny, skutki oraz środki zapobiegawcze/łagodzące scenariusz wysokiego ryzyka
broń chemiczna ³	niżej wymienione, występujące razem lub oddzielnie: (a) toksyczne związki chemiczne i ich prekursorzy, z wyłączeniem tych przypadków, które są przeznaczone do celów niezabronionych na mocy Konwencji CWC, pod warunkiem że ich rodzaje i ilości są zgodne z takimi celami; (b) amunicja i urządzenia specjalnie zaprojektowane dla spowodowania śmierci lub innej szkody poprzez toksyczne właściwości związków chemicznych, wyszczególnionych w ustępie (a), wyzwalanych w rezultacie zastosowania takiej amunicji i urządzeń; (c) wszelki sprzęt specjalnie zaprojektowany do użycia w bezpośrednim związku z zastosowaniem amunicji i urządzeń określonych w ustępie (b).
BST	bojowe środki trujące
chloroacetofenon (CN)	chloroacetofenon, BST o działaniu drażniącym
CHEMSEA	Chemical Munitions Search and Assessment – międzynarodowy projekt badawczy (2011–2014)
Clark I (DA)	difenylochloarsyna, arsenoorganiczny BST
Clark II (DC)	difenylocyjanoarsyna, arsenoorganiczny BST
cSt	centystokes – jednostka lepkości kinematycznej
DAIMON	Decision Aid for Marine Munitions – międzynarodowy projekt badawczy (2016–2019)
DPAA	kwasy difenyloarsynowe – produkt degradacji Clark I
EAL	oczekiwana roczna wartość strat finansowych wynikających z analizowanego ryzyka (Expected Annual Loss)
EC ₅₀	stężenie substancji, które wywołuje określony efekt u 50% testowanej populacji
ECDIS	system map elektronicznych (Electronic Chart Display and Information System)
EOD	wojskowe jednostki saperskie (Explosive Ordnance Disposal)
end-to-end	proces, usługa lub system obejmujący wszystkie etapy – od początku do końca, bez udziału pośredników
ERP	Plan Reagowania Kryzysowego (Emergency Response Plan)
ERW	wybuchowe pozostałości wojenne (UXO + AXO) (Explosive Remnants of War)
FMEA	Analiza Rodzajów Błędów oraz ich Skutków – systematyczna, prewencyjna metoda zarządzania jakością, służąca do identyfikacji potencjalnych wad, ich przyczyn i skutków w procesach, projektach lub produktach (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	zaawansowana, proaktywna metoda inżynierska służąca do identyfikacji potencjalnych trybów awarii, ich skutków oraz oceny krytyczności (ryzyka) w systemach, projektach lub procesach. Jest to rozszerzenie FMEA, które dodaje ilościową analizę krytyczności, umożliwiając uszeregowanie awarii według dotkliwości i prawdopodobieństwa wystąpienia, co wspiera priorytetyzację działań zapobiegawczych (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis)

³ Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, sporządzona w Paryżu dnia 13 stycznia 1993 r.

Skrót/pojęcie	Znaczenie
FT	grupa produktów otrzymywanych w procesie Fischera-Tropscha
galon	jednostka miary objętości płynów stosowana w krajach anglosaskich
GPSN	Grupa Przewozu Substancji Niebezpiecznych
HAZOP	ustrukturyzowana, zespołowa metoda analizy ryzyka procesowego, oparta na normie PN-EN 61882:2016-07, służąca do identyfikacji zagrożeń i problemów operacyjnych (Hazard and Operability Study)
HELCOM	Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku (Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki Commission)
HMX	oktogen – materiał wybuchowy kruszący
IMDG Code	Międzynarodowy kodeks ładunków niebezpiecznych IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code)
IMO	Międzynarodowa Organizacja Morska (International Maritime Organisation)
ISO	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
iperyt siarkowy (HD)	bojowy środek trujący o silnym działaniu parzącym i mutagennym (gaz musztardowy)
Konwencja o zakazie broni chemicznej (CWC)	Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, sporządzona w Paryżu dnia 13 stycznia 1993 r. (Chemical Weapon Convention)
KPI	mierzalny wskaźnik do monitorowania jakości danych (Key Performance Indicator)
LC ₅₀	stężenie substancji powodujące śmierć 50% testowanej populacji w określonym czasie
LC-HRMS	chromatograf cieczowy sprzężony z wysokorozdzielczym spektrometrem mas
LTI	utrata zdolności do pracy przez co najmniej jeden dzień (Lost Time Injury)
Luizyt (L)	2-chlorowinylodichloroarsyna – arsenowy BST o działaniu parzącym
materiały wybuchowe (MW) ⁴	a) substancje chemiczne stałe lub ciekłe albo mieszaniny tych substancji, które pod wpływem bodźców zewnętrznych są zdolne do gwałtownej reakcji chemicznej, której towarzyszy wydzielanie produktów gazowych o takiej temperaturze i ciśnieniu i z taką szybkością, że mogą powodować zniszczenia w otaczającym środowisku, a także wyroby wypełnione materiałem wybuchowym, z wyłączeniem amunicji, b) materiały pirotechniczne – materiały lub mieszaniny materiałów przewidzianych do wytwarzania efektów cieplnych, świetlnych, dźwiękowych, gazu, dymu lub kombinacji tych efektów, w wyniku bezdetonacyjnej, samopodtrzymującej się reakcji chemicznej, a także wyroby wypełnione materiałem pirotechnicznym, c) plastyczne materiały wybuchowe – materiały wybuchowe, których opis jest przedstawiony w części 1. „Opis materiałów wybuchowych” w ust. I załącznika technicznego do Konwencji w sprawie znakowania plastycznych materiałów wybuchowych w celu ich wykrywania, podpisanej w Montrealu dnia 1 marca 1991 r. (Dz.U. 2007 poz. 948)
MCDA	Wielokryterialna Analiza Decyzyjna – ustrukturyzowana metoda wspomagania decyzji, służąca do oceny i wyboru optymalnego wariantu spośród wielu alternatyw, gdy występuje kilka sprzecznych celów. Pozwala na obiektywne porównanie opcji przy użyciu kryteriów ilościowych i jakościowych, przypisując im odpowiednie znaczenie (Multiple-Criteria Decision Analysis)
MWiN	materiały wybuchowe i niebezpieczne

⁴ Ustawa z 13 czerwca 2019 r. o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym

Skrót/pojęcie	Znaczenie
MW RP	Marynarka Wojenna Rzeczypospolitej Polskiej
NATO	Pakt Północnoatlantycki (North Atlantic Treaty Organization)
near-miss	zdarzenie potencjalnie wypadkowe
next-gen	następna generacja, dojrzałość technologiczna i operacyjna systemu
niewybuch ⁵	pocisk, granat, bomba lub ładunek kruszący, w którym mimo stworzonych warunków do wybuchu (m.in. uderzenie w przeszkodę, uzbrojenie zapalnika) nie nastąpiła przemiana energii potencjalnej materiału kruszącego w energię mechaniczną na skutek m.in. działania zmian chemicznych w materiale kruszącym, błędów technicznych wykonania
niewypał	amunicja, której z powodu wady nie dało się wystrzelić
OPCW	Organizacja ds. Zakazu Broni Chemicznej (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons)
OPM	obrona przeciwminowa
PNZ	Plan Neutralizacji Zagrożeń
prekursor	każdy reagent, zastosowany na dowolnym etapie produkcji toksycznego związku chemicznego, niezależnie od stosowanego procesu produkcyjnego. Pojęcie to obejmuje każdy kluczowy składnik binarnego lub wieloskładnikowego układu chemicznego
produkty FT	syntetyczne paliwa ciekłe powstałe w wyniku procesów chemicznych, w tym w wyniku syntezy Fischera-Tropscha
PWiN ⁶	przedmioty wybuchowe i niebezpieczne. W dokumentach normatywnych definiowane jako materiały wybuchowe i niebezpieczne. PWiN mogą występować jako niewybuchy (unexploded explosive ordnance – UXO) i/lub porzucone materiały wybuchowe (abandoned explosive ordnance – AXO) zarówno w trakcie, jak i po zakończeniu konfliktu. W przypadku zakończenia konfliktu zarówno AXO, jak i UXO nazywane są wybuchowymi pozostałościami po wcześniejszych konfliktach (explosive remnants of war – ERW)
PZPPOM	Plan zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000, przyjęty Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2021 r. (Dz.U. 2021 poz. 935)
QHSE	System Zarządzania Jakością, Bezpieczeństwem i Środowiskiem (Quality, Health, Safety and Environment)
RAF	Królewskie Siły Powietrzne
rapid recon	procedura szybkiego rekonesansu dna morskiego, wdrożona w celu zarządzania ryzykiem związanym z obiektami niebezpiecznymi
RDX	heksogen – materiał wybuchowy kruszący
ROV	zdalnie sterowany pojazd podwodny (Remotely Operated Vehicle)
SAR	technika wykorzystywana np. w monitoringu satelitarnym do wykrywania cienkich filmów paliwowych na powierzchni wody (Synthetic Aperture Radar)
SMHI	Szwedzki Instytut Meteorologiczny i Hydrologiczny (Swedish Meteorological and Hydrological Institute)
ŚOI	środki ochrony indywidualnej

⁵Oczyszczanie terenów z Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych, Inż. 598/2014, DGRSZ.

⁶Usuwanie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych.

Skrót/pojęcie	Znaczenie
stop-work/EOD	formalna procedura w systemie zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem, która pozwala natychmiast przerwać prace w przypadku wykrycia zagrożenia (tym przypadku wykrycia niewybuchu) i natychmiastowe wezwanie zespołu EOD
strefa „no-go”	obszary, w które statki (lub konkretne typy jednostek) mają całkowity zakaz wpływania
strefa „caution”	obszary o podwyższonym ryzyku, gdzie ruch jest dozwolony, ale pod szczególnymi warunkami
TDG	tiodiglikol – główny produkt hydrolizy iperytu siarkowego
toksyczny związek chemiczny	dowolny związek chemiczny, który przez swoje działanie na procesy życiowe może spowodować śmierć, czasowe obezwładnienie lub trwałą szkodę ludziom lub zwierzętom. Obejmuje to wszystkie tego rodzaju związki chemiczne, niezależnie od ich pochodzenia lub metody ich produkcji, bez względu na zastosowanie ich w obiektach, w amunicji lub gdzie indziej
TNT	2,4,6-trinitrotoluen (trotyl) – materiał wybuchowy o właściwościach toksycznych i kancerogennych
trigger	wartość graniczna lub specyficzne zdarzenie, których przekroczenie automatycznie uruchamia procedurę
T/S	tankowiec (Tanker Ship)
tonaż	wyporność jednostki pływającej, tj. miara masy statku lub masy wody, którą wypiera
UMA	mina typu A (niem. Unternehmens-Mine A, ang. Underwater Mine A)
UXO	wg ⁷ – niewybuch – kompletne urządzenie wypełnione materiałami wybuchowymi, ładunkami miotającymi, materiałami pirotechnicznymi, mieszaninami zapalającymi lub środkami chemicznymi, biologicznymi, ładunkami radiologicznymi lub jądrowymi, do użycia w operacjach wojskowych, łącznie z wyburzeniami, które zostały odpalone, wystrzelone, zrzucone lub umieszczone w celu wyrządzenia szkody działaniom, obiektom, personelowi lub materiałom, a które nie eksplodowały wskutek wadliwego działania wg ⁸ – materiały wybuchowe i amunicja, które były uzbrojone, wyposażone w zapalniki lub w inny sposób przygotowane do użycia, które były odpalone, wystrzelone, zrzucone lub umieszczone w taki sposób, że stanowią zagrożenie dla działań bojowych, instalacji, personelu lub materiałów, a które nie eksplodowały w wyniku usterek, złego działania lub z innych powodów
WAF	frakcja związana z wodą (Water-Associated Fraction)
WSE	wyłączna strefa ekonomiczna
WWA	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
zasobniki bojowych środków trujących	wszelkiego rodzaju pociski artyleryjskie, granaty, bomby lotnicze, rakiety, świece dymne oraz pojemniki do przechowywania gotowych BST, jak i komponentów chemicznych do ich tworzenia
zatopiona broń chemiczna	broń chemiczna, w rozumieniu definicji zawartej w Konwencji o zakazie broni chemicznej, która została zatopiona w morzu przed 1 stycznia 1985 roku i w nim pozostaje
zatopione materiały niebezpieczne	zgodnie z art. 32b ustawy o obszarach morskich – amunicja, broń, materiały wybuchowe i chemiczne zalegające na dnie morza

⁷ Usuwanie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych.

⁸ AAP-6. Słownik terminów i definicji NATO. AAP-6 (2017).

WPROWADZENIE

Tło problemu (synteza)

Zatopione na dnie Morza Bałtyckiego niebezpieczne materiały – w tym bojowe środki trujące (BST), amunicja konwencjonalna, paliwa oraz substancje ropopochodne – stanowią poważne i narastające zagrożenie dla środowiska morskiego, działalności gospodarczej oraz bezpieczeństwa ludzi. Problem ten jest szczególnie istotny w polskich obszarach morskich, gdzie liczne miejsca zatopienia materiałów niebezpiecznych, pochodzące głównie z okresu II wojny światowej, wymagają systemowego podejścia oraz skoordynowanych działań na poziomie państwa.

Zarówno amunicja chemiczna, jak i konwencjonalna były masowo zatapiane w morzach i oceanach począwszy od I wojny światowej. Skala zjawiska określana jest na ogólnosiwiatową. Zatopień dokonywano także w Morzu Bałtyckim, które wskazywane jest jako przykład akwenu, gdzie skutki zatapiania amunicji mogą okazać się szczególnie dotkliwe z uwagi na stosunkowo niewielkie głębokości miejsc, w których zatapiana była amunicja [rejon Bornholmu – około 90 m, rejon Gotlandii od 100 do 130 m, oraz około 30 m w rejonie Małego Bełtu (Beddington, Kinloch, 2006)]. Szacuje się, że po II wojnie światowej na dno Bałtyku zrzucono około 300 000 ton bomb lotniczych, torped, rakiet, min, bomb głębinowych, pocisków artyleryjskich, materiałów wybuchowych, paliw i środków bojowych, z czego około 40 000 ton stanowiła broń chemiczna zawierająca około 13 000 ton BST (HELCOM, 1994). Inne źródła wskazują, że może to być nawet ponad 385 000 ton, z czego bojowe środki trujące mogą stanowić około 15 000 ton (Program MUNIMAP: Nowa nadzieja dla Bałtyku, 2025).

Po zakończeniu II wojny światowej zarekwirowana przez aliantów i przeznaczona do zatopienia amunicja konwencjonalna była składowana w rejonie Kolberger Heide. Wśród niej zidentyfikowano głównie głowice torpedowe oraz miny morskie pochodzące z arsenałów w Szlezewiku-Holsztynie. Ponadto zatopieniu ulec mogły także naboje karabinowe i pistoletowe, pociski artyleryjskie, granaty i ładunki miotające, a także amunicja przeciwlotnicza o kalibrze od 2 do 40,6 cm. Prawdopodobnie zatopiona zostać miała także amunicja czołgowa, miny lądowe oraz granaty i inne powszechnie stosowane uzbrojenie. Pewne dane doprecyzowujące powyższe informacje wskazują na bomby o masie od 1 do 500 kg, a nawet 1000 kg, rakiety o średnicy do 32 cm i amunicję morską (miny kotwiczne i miny denne, głowice bojowe oraz całe torpedy oraz bomby głębinowe) (Frey i in., 2023).

W przypadku broni chemicznej oficjalnie wiadomo, że zrzucono ją w południowo-wschodniej części Głębi Gotlandzkiej (ok. 2000 ton), we wschodniej części Głębi Bornholmskiej (ok. 32 000 ton) oraz w cieśninie Mały Bełt (ok. 5000 ton). Ponadto odtajniona przez Niemcy dokumentacja wskazuje, że broń chemiczna zatapiana była także w rejonach na wschód (ok. 8000 ton) oraz na południowy zachód (ok. 15 000 ton) od Bornholmu (Kasperek, 1999). Do dnia dzisiejszego nie zweryfikowano jednak ani ilości, ani rodzaju zatopionej w tych miejscach broni chemicznej i BST. Największe ilości broni chemicznej zatopiono w latach 1945–1947, należy jednak zaznaczyć, że nieużyteczną, wycofaną z użytku broń chemiczną armie NRD i ZSRR zatapiały jeszcze długo po roku 1947. W przypadku NRD odtajnione dokumenty wskazują, że od 1959 do 1965 roku, w rejonach na wschód oraz na południowy zachód od wyspy Bornholm, zatopiono odpowiednio około 60 ton i około 120 ton amunicji chemicznej, głównie bomb, pocisków i beczek zawierających iperyt siarkowy, fosgen, adamsyt oraz Clarki I i II (HELCOM, 2013).

Badania prowadzone w ramach projektu badawczego CHEMSEA wykazały, że BST znajdują się także w Głębi Gdańskiej, dotąd uznawanej za nieoficjalny rejon zatopienia broni chemicznej, jak również w rejonie Rynny Słupskiej, przez obszar której przebiegały trasy transportów do określonych miejsc zrzutu w rejonie Głębi Gotlandzkiej (Bełdowski i in., 2014).

Przeprowadzone dotychczas badania uwidaczniają znaczne braki wiedzy w zakresie ilości szczególnie amunicji konwencjonalnej, która znalazła się pod kontrolą zwycięskich państw alianckich. Dane dotyczące amunicji chemicznej zdają się przy tym dość dokładne, chociaż i w tym przypadku pojawiają się nieścisłości i luki uniemożliwiające pełne prześledzenie losów (ustalenie faktycznej pełnej ilości zatopionej amunicji ani docelowych zrzutowisk poza obszarami określanymi jako oficjalne). Szczególne wyzwanie w zakresie badań historycznych nad tymi aspektami związane jest z brakiem dostępu do archiwów rosyjskich (wcześniej radzieckich). Pewne szczątkowe informacje publikowane były w 2005 r., przy okazji prac prowadzonych nad projektem gazociągu Nord Stream, kiedy to po raz pierwszy umożliwiono dostęp do niejawnych źródeł rosyjskich (Жирнов, 2012).

W odpowiedzi na to wyzwanie decyzją Prezesa Rady Ministrów w 2022 r. powołany został Międzyresortowy Zespół do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich Rzeczypospolitej Polskiej (M.P. 2022 poz. 1042) (dalej: Zespół). Zadaniem Zespołu jest opracowanie kompleksowego planu działań administracji publicznej w zakresie neutralizacji zagrożeń związanych z obecnością w polskich obszarach morskich bojowych środków trujących, broni konwencjonalnej oraz paliw i substancji ropopochodnych we wrakach. Zespół odpowiada także za analizę kompetencji instytucji publicznych, ocenę ekonomiczną niezbędnych działań, opracowanie harmonogramu ich realizacji, identyfikację podmiotów odpowiedzialnych, przygotowanie założeń systemu monitoringu oraz analizę ryzyka, również w kontekście rozwoju morskiej energetyki wiatrowej. Efektem prac Zespołu będą rekomendacje dla Rady Ministrów dotyczące dalszych działań na poziomie krajowym.

Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń (dalej: PNZ) jest dokumentem o charakterze analityczno-strategicznym i stanowi narzędzie operacyjne wspierające proces podejmowania decyzji o charakterze środowiskowym, technicznym i ekonomicznym.

Celem PNZ dla obszaru Głębi Gdańskiej jest określenie ram i priorytetów dla działań mających na celu ograniczanie lub usunięcie zagrożeń wynikających z obecności materiałów niebezpiecznych, w szczególności pozostałości broni chemicznej oraz konwencjonalnej. PNZ definiuje cele, kierunki działań, strukturę odpowiedzialności instytucjonalnej oraz podstawy dla wdrożenia systemu monitorowania i neutralizacji zidentyfikowanych zagrożeń. Dokument ten stanowić może wytyczną dla dalszych decyzji rządowych, w tym przyjęcia długofalowego programu działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ekologicznego i operacyjnego w polskich obszarach morskich. Ponadto może wspierać realizację zobowiązań Polski wynikających z międzynarodowych konwencji i dyrektyw, takich jak Konwencja Helsińska (HELCOM) czy Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej (2008/56/WE).

Dokument ten powstał jako jeden z kluczowych rezultatów projektu realizowanego przez Urząd Morski w Gdyni pn.: „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego w wybranych lokalizacjach”, finansowanego z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO). Projekt ten wspiera działania Międzyresortowego

Zespołu do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich Rzeczypospolitej Polskiej.

Celem PNZ dotyczącego obszaru zalegania obiektów niebezpiecznych w rejonie Głębi Gdańskiej jest w szczególności:

1. identyfikacja i inwentaryzacja zatopionych materiałów niebezpiecznych, ze szczególnym uwzględnieniem amunicji chemicznej i konwencjonalnej i ich pozostałości stanowiących zagrożenie dla środowiska i działalności gospodarczej;
2. ocena ryzyka zdarzeń, które stwarzają możliwość utraty zdrowia, życia ludzkiego lub wystąpienia szkody w mieniu albo w środowisku, związanego z zatopionymi materiałami niebezpiecznymi, w tym określenie obszarów o najwyższym poziomie zagrożenia;
3. opracowanie metod oraz planu wdrożenia systemu monitoringu i wczesnego ostrzegania w zakresie uwalniania substancji niebezpiecznych do środowiska morskiego;
4. sformułowanie rekomendacji i wariantów technicznych działań neutralizacyjnych, takich jak wydobycie, izolacja, stabilizacja *in situ* lub inne formy zabezpieczenia, uwzględniających aspekty środowiskowe, technologiczne i ekonomiczne;
5. zapewnienie ram dla zarządzania kryzysowego w sytuacjach awaryjnych związanych z przypadkowym uszkodzeniem lub destabilizacją miejsc zatopienia.

W niniejszym dokumencie pojęcie **neutralizacji** stosowane jest w znaczeniu operacyjnym, odnoszącym się do działań technicznych prowadzących do eliminacji zagrożenia. Natomiast **proces neutralizacji zagrożeń** obejmuje pełny cykl działań przygotowawczych, analitycznych i organizacyjnych, których celem jest doprowadzenie do skutecznej neutralizacji w terenie. Poniższe definicje opracowano na podstawie terminologii stosowanej w dokumentach NATO (AAP-6 – *NATO Glossary of Terms and Definitions*; STANAG 4518), ONZ (IATG 01.40:2021 – *Glossary of Terms, Definitions and Abbreviations*; IMAS; UNMAS, 2020; UNTERM) oraz zasad zarządzania ryzykiem określonych w normie ISO 31000:2018 i koncepcji ALARP (HSE, 2001 – *Reducing Risks, Protecting People*). Definicje te uwzględniają interpretacje przyjęte w PNZ w odniesieniu do zagrożeń, takich jak: UXO, BST oraz paliwa i produkty ropopochodne.

Proces neutralizacji zagrożeń to uporządkowana, interdyscyplinarna sekwencja działań analitycznych, organizacyjnych i technicznych prowadzących do skutecznej likwidacji zagrożeń dla środowiska. Obejmuje on etapy: identyfikacji, lokalizacji, rozpoznania, oceny ryzyka, klasyfikacji, wyboru metod działania oraz planowania i nadzoru nad ich wdrożeniem, a także monitoring i ocenę skuteczności.

Celem PNZ jest redukcja ryzyka środowiskowego, technicznego i społeczno-ekonomicznego do poziomu akceptowalnego, z wykorzystaniem dostępnych technologii oraz zasad zarządzania ryzykiem zgodnych z normą ISO 31000 i koncepcją ALARP.

Neutralizacja zagrożeń to działanie techniczne lub zestaw działań wykonawczych prowadzących do trwałego usunięcia, zniszczenia, zabezpieczenia lub odizolowania zidentyfikowanego źródła zagrożenia – w przypadku PNZ takiego jak: amunicja konwencjonalna, bojowe środki trujące, paliwa i produkty ropopochodne – w sposób eliminujący lub istotnie ograniczający jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko. Efektem neutralizacji zagrożenia jest pozbawienie zidentyfikowanego źródła zagrożenia

właściwości niebezpiecznych do poziomu uznanego za akceptowalny poziom ryzyka resztkowego zgodnie z zasadą ALARP lub uczynienie obiektu bezpiecznym.

Poszczególne metody neutralizacji, wraz z ich parametrami, zaletami, ograniczeniami i efektywnością, przedstawiono w rozdziale 3.

Plan Neutralizacji Zagrożeń opracowano na podstawie umowy projektowej PM.372.3.2025.JG (część 3 Zamówienia: Głębia Gdańska).

Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

PNZ przygotowano w dwóch komplementarnych etapach:

- **Część I** – analiza wstępna, stanowiąca syntezę dotychczasowej wiedzy, identyfikację potencjalnych zagrożeń oraz przegląd dostępnych metod neutralizacji. Część ta jest niezależna od wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu;
- **Część II** – analiza szczegółowa oparta na wynikach badań terenowych i laboratoryjnych, obejmująca charakterystykę zidentyfikowanych obiektów, przypisany im zakres działań prewencyjnych, ocenę ryzyka, koszty oraz zalecenia dotyczące wdrożenia i monitoringu.

Metodyka opracowania Części I

Część I opracowano w oparciu o:

- analizę dokumentów archiwalnych i materiałów źródłowych dotyczących prawdopodobnie zatapianych materiałów niebezpiecznych w rejonie Głębi Gdańskiej;
- analizę dokumentów archiwalnych i źródłowych dotyczących charakterystyki i składu zatapianych materiałów niebezpiecznych, w tym amunicji konwencjonalnej i chemicznej;
- przegląd wyników prac badawczo-rozwojowych i projektów międzynarodowych, w szczególności: MERCW, CHEMSEA, MODUM, DAIMON oraz DAIMON 2;
- analizę porównawczą dostępnych technologii neutralizacji zagrożeń, procedur bezpieczeństwa oraz metod zarządzania ryzykiem;
- przegląd i ocenę obowiązujących regulacji krajowych i międzynarodowych w zakresie wydobycia, transportu, neutralizacji i monitoringu substancji niebezpiecznych;
- studia przypadków zrealizowanych operacji neutralizacji i oczyszczania z materiałów niebezpiecznych, głównie amunicji chemicznej i konwencjonalnej, w różnych warunkach środowiskowych;
- sformułowanie scenariuszy działań oraz procedur monitorowania i wdrażania PNZ – na podstawie aktualnie dostępnej wiedzy i doświadczeń.

Metodyka opracowania Części II

Część II opracowano na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych prowadzonych w ramach projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego” (dalej Badania 2025–2026).

Wyniki Badań 2025–2026 stanowiły podstawę do identyfikacji obiektów/zagrożeń (pojedyncze obiekty mogące być amunicją chemiczną lub konwencjonalną, skupiska amunicji chemicznej lub konwencjonalnej, pozostałości po amunicji chemicznej lub konwencjonalnej, bojowe środki trujące, materiały wybuchowe oraz produkty ich degradacji, a także wraki z amunicją) wymagających podjęcia działań monitoringowych.

Dla każdego z obiektów uznanych za stanowiący zagrożenie opracowano indywidualny zestaw analiz, obejmujący:

1. Opis obiektu – określenie rodzaju, lokalizacji, stanu technicznego i charakterystyki zagrożenia;
2. Rekomendowane działania – monitoring;
3. Analizę ryzyka – dla wybranych działań prewencyjnych;
4. Analizę kosztów – szacowanie kosztów realizacji wybranych działań prewencyjnych oraz monitoring;
5. Monitoring środowiska – określenie parametrów, metod, lokalizacji i częstotliwości pomiarów, a także zasad raportowania wyników.

Metodyka opracowania Części II opiera się na analizie wyników badań środowiskowych oraz identyfikacji zlokalizowanych obiektów z wykorzystaniem zastosowanych metod pomiarowych. Na ich podstawie opracowano ocenę ryzyka oraz oszacowano koszty przyszłych działań.

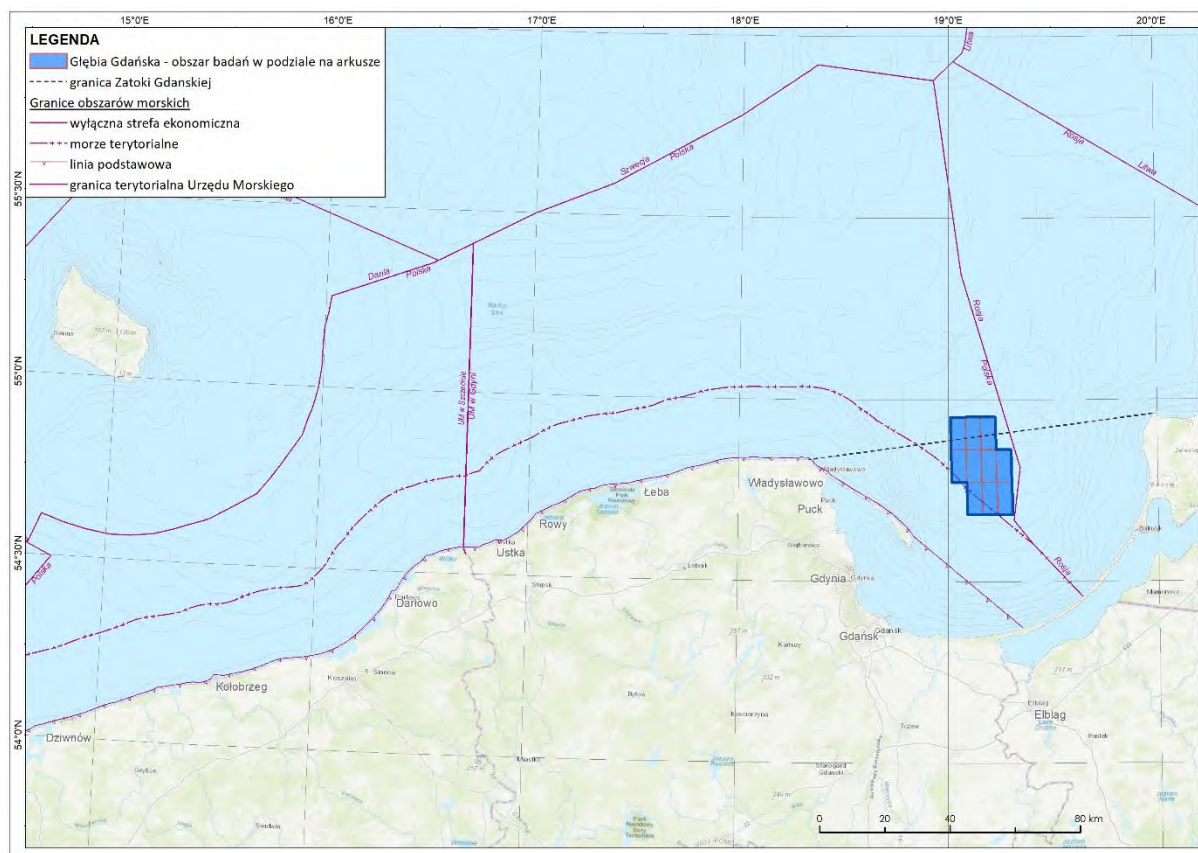
Syntetyczny opis badanego obszaru

Obszar badań wykonywanych w ramach projektu (dalej: Obszar badań) położony jest w większości w granicach Zatoki Gdańskiej, rozumianej jako jednostka geograficzno-prawna delimitowana zgodnie z postanowieniami UNCLOS oraz funkcjonująca jako odrębna jednostka raportowa (Gdańsk Basin) w systemie HELCOM (HELCOM HOLAS 3).

Jednocześnie Obszar badań zlokalizowany jest w obrębie jednostki morfologicznej Głębia Gdańska, stanowiącej głębokowodny basen południowo-wschodniej części Morza Bałtyckiego, wyznaczany na podstawie batymetrii, najczęściej izobatą 100 m. W Głębi utrzymuje się wyraźna stratyfikacja termohalinowa, z halokliną zlokalizowaną na głębokości ok. 60–70 m, ograniczającą wymianę pionową wód (Burska i in., 2005). Profil pionowy materii cząsteczkowej (POC/PON) wskazuje na istotne zróżnicowanie między warstwą powierzchniową a przydenną, co odzwierciedla intensywne procesy biogeochemiczne w części głębokiej basenu (Burska, 2005). W latach 2003–2023 w Głębi (w warstwie >100 m) stwierdzono istotny statystycznie wzrost temperatury (~1,6°C) oraz systematyczny spadek stężenia tlenu rozpuszczonego (-0,075 do -0,104 ml/L rocznie). Po 2018 r. nastąpiło przejście od warunków hipoksycznych do beztlenowych z obecnością siarkowodoru, a od 2019 r. do późnej jesieni 2023 r. warunki te utrzymywały się niemal stale (Kapustina i in., 2026).

Obszar badań obejmuje maksymalną powierzchnię 460 km², w przedziale głębokości od 80 do 110 m. Tym samym jego zasadnicza część znajduje się w obrębie morfologicznej Głębi Gdańskiej, natomiast fragmenty płytsze (80–100 m) obejmują strefę przejściową pomiędzy stokiem basenowym a centralną depresją.

Obszar badań, z podziałem na 10 podoblaszów, na tle granic państwowych oraz granic Zatoki Gdańskiej przedstawiono na rysunku (Rysunek 1).



Rysunek 1. Lokalizacja Obszaru badań (źródło: opracowanie własne)

Obszar badań położony jest w większości w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej, natomiast jego południowo-zachodnia część znajduje się w granicach morza terytorialnego Rzeczypospolitej Polskiej. Obszar ten zlokalizowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie granicy z rosyjską wyłączną strefą ekonomiczną (w odległości od ok. 1 do ok. 6 km od wschodniej granicy Obszaru badań).

W bezpośrednim sąsiedztwie Obszaru badań przebiegają szlaki żeglugowe o znaczeniu krajowym i międzynarodowym. Najważniejsze są trasy prowadzące do portów morskich w Gdyni i Gdańsku objęte Systemem Rozgraniczenia Ruchu Statków „Zatoka Gdańska”: TSS „WSCHÓD” i TSS „ZACHÓD”⁹. Statki płynące do Portu Północnego w Gdańsku i w kierunku przeciwnym powinny korzystać z systemu rozgraniczenia ruchu „WSCHÓD”, natomiast statki płynące do Gdyni oraz do Nowego Portu w Gdańsku i w kierunku przeciwnym korzystają z części północno-wschodniej i południowo-zachodniej systemu rozgraniczenia ruchu „ZACHÓD” (Rysunek 2). Raport o stanie zagospodarowania polskich obszarów morskich (Matczak i in., 2024) wskazuje na wzrost natężenia ruchu na tej trasie. Przez Obszar badań prowadzą również trasy zwyczajowe do portu w Kaliningradzie, na Litwie oraz portów na Zatoce Fińskiej. Natężenie na tych kierunkach zmalało w okresie 2019–2024 (Matczak i in., 2024).

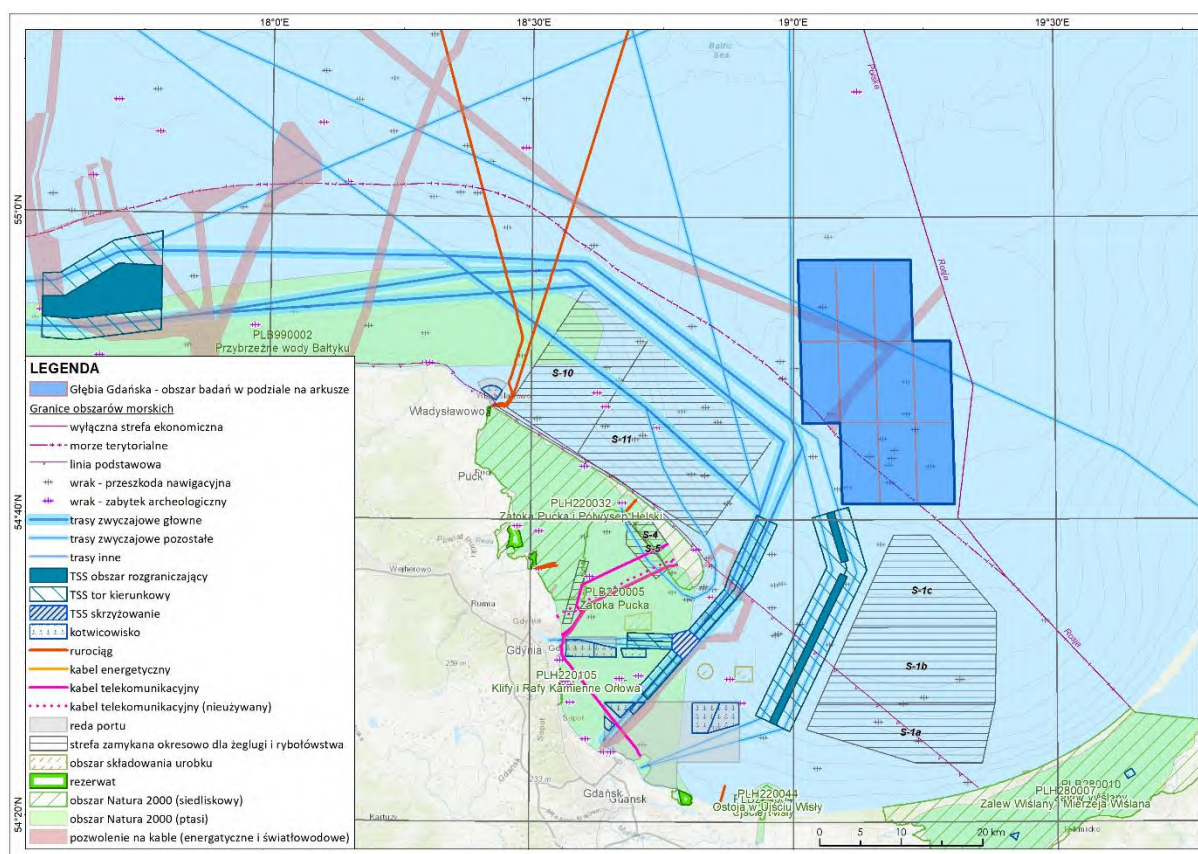
⁹ System rozgraniczenia ruchu statków „Zatoka Gdańska” został ustanowiony przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) na mocy okólnika COLREG.2/Circ.59 z dnia 23 października 2007 r. oraz zaleceń SN.1/Circ.263.

Obszar badań stanowi również część łowiska, na którym operują jednostki powyżej 12 metrów długości – łowiska Zatoki i Głębi Gdańskiej. W latach 2019–2023 łowisko to zapewniało najwyższe wielkości połowów gatunków pelagicznych (śledź i szprot) na polskich obszarach morskich (Matczak i in., 2024).

Obszar badań zlokalizowany jest częściowo na poligonach Marynarki Wojennej RP, które mogą być ogłaszane okresowo jako strefa niebezpieczna dla żeglugi lub rybołówstwa. Na południe i zachód od badanego obszaru, na morzu terytorialnym ustanowione zostały strefy zamykane okresowo dla żeglugi i rybołówstwa.

Najbliższe obszary chronione zlokalizowane są w odległości około 20 km na południe od granicy obszaru badań. Są to obszary powołane w ramach europejskiej sieci ekologicznej Natura 2000: Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032 oraz Zatoka Pucka PLB220005, które obejmują siedliska cenne przyrodniczo, w tym miejsca bytowania ptaków wodno-błotnych i foki szarej (*Halichoerus grypus*) (GDOŚ, Standardowy Formularz Danych, PLH220032).

Na moment opracowania PNZ na analizowanym obszarze wydane zostały trzy decyzje uzgadniające lokalizację i sposoby utrzymania podmorskiego kabla światłowodowego na Morzu Bałtyckim dla inwestora Eastern Light Poland sp. z o.o. (Rysunek 2).



Rysunek 2. Mapa Obszaru badań na tle uwarunkowań przestrzennych (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM)

Z punktu widzenia administracyjnego Obszar badań podlega jurysdykcji Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni. Obowiązującym dokumentem planistycznym jest Plan zagospodarowania przestrzennego

morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000 (PZPPOM, 2021).

Obszar badań zlokalizowany jest w granicach wydzielen planistycznych o funkcji podstawowej:

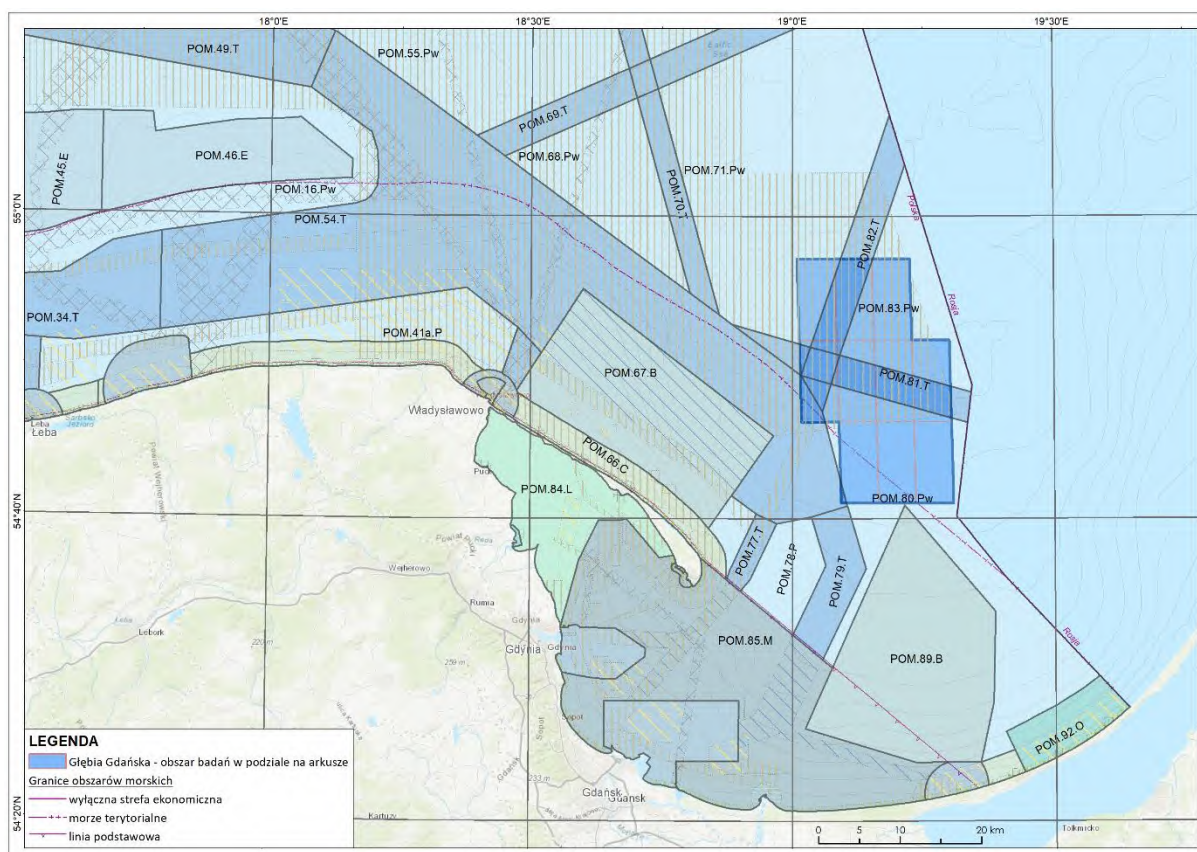
- T – Transport (POM.54.T, POM.81.T, POM.82.T),
- Pw – Rezerwa dla przyszłego rozwoju z dopuszczeniem wydobycia (POM.71.Pw, POM.80.Pw, POM.83.Pw) (Rysunek 3).

W wydzieleniach o funkcji T priorytetem jest zapewnienie bezpieczeństwa i swobody żeglugi. Plan wprowadza zakaz wznoszenia sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń oraz ograniczenia w zakresie lokalizacji infrastruktury technicznej, przy czym dopuszcza realizację podmorskich kabli telekomunikacyjnych (światłowodów).

W wydzieleniach o funkcji Pw dopuszczona jest realizacja inwestycji związanych z poszukiwaniem, rozpoznawaniem i wydobyciem kopalin, jednocześnie w granicach morza terytorialnego obowiązuje zakaz wznoszenia sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń służących do wydobywania węglowodorów. W akwenach tych funkcjonują podobne ograniczenia co do infrastruktury przesyłowej węglowodorów – jest ona dopuszczona w akwencie POM.71.Pw.

PZPPOM nie przewiduje w granicach Obszaru badań odrębnych wydzielen przeznaczonych wyłącznie pod infrastrukturę liniową (np. dedykowanych podakwenów kablowych lub rurociągowych).

Plan nie wprowadza również szczególnych ograniczeń dla realizacji funkcji dopuszczalnych w związku z obecnością bojowych środków trujących lub amunicji konwencjonalnej. W opisie uwarunkowań akwenu POM.80.Pw wskazano jedynie na lokalizację nieoficjalnego miejsca zatapiania broni chemicznej, oznaczonego na mapach nawigacyjnych.



Rysunek 3. Mapa Obszaru badań na tle wydziałów PZPPOM (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM)

CZĘŚĆ I – ANALIZA WSTĘPNA

1 ZATOPIONE MATERIAŁY NIEBEZPIECZNE

Ze względu na interdyscyplinarność projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego...” w źródłach mogą występować różne określenia obiektów stwarzających zagrożenie. W niniejszym PNZ przyjęto wspólny termin używany w dokumentach normatywnych „przedmioty wybuchowe i niebezpieczne (PWiN)” jako pojęcie parasolowe, obejmujące w szczególności:

- **UXO** (*unexploded explosive ordnance*) – niewybuchy;
- **AXO** (*abandoned explosive ordnance*) – porzucone środki wybuchowe.

Po zakończeniu konfliktów zarówno UXO, jak i AXO klasyfikowane są zbiorczo jako **ERW** (*explosive remnants of war* – wybuchowe pozostałości po wojnach).

Na potrzeby spójności terminologicznej PNZ opiera się na definicjach stosowanych w dokumentach międzynarodowych i krajowych. Komplet definicji stosowanych w PNZ zamieszczono na początku dokumentu.

Paliwa i substancje ropopochodne nie są klasyfikowane jako PWiN, lecz jako inne materiały niebezpieczne zatopione w środowisku morskim.

Zgodnie z ustawą z dnia 21 marca 1991 r. o *obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 Nr 32, poz. 131 ze zm.) (Rozdział 5a, art. 32b) *Zatopione materiały niebezpieczne* oznaczają następujące kategorie substancji i obiektów zalegających w polskich obszarach morskich:

- amunicję, o której mowa w art. 3 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 13 czerwca 2019 r. o *wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym* – Dz.U. z 2023 r. poz. 1743), broń, o której mowa w art. 3 ust. 1 pkt 2 tej ustawy, lub materiały wybuchowe, o których mowa w art. 3 ust. 1 pkt 9 tej ustawy;
- broń chemiczną w rozumieniu ustawy z dnia 22 czerwca 2001 r. o *wykonywaniu Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów* (Dz.U. z 2018 r. poz. 359);
- wraki, o których mowa w art. 35a ust. 1a, na których lub w bezpośredniej bliskości których znajdują się pozostałości paliwa, różnego rodzaju substancje ropopochodne lub obiekty i substancje wymienione w pkt 1 i 2.

W polskich obszarach morskich zidentyfikowano wiele źródeł zagrożeń, obejmujących zarówno wraki z paliwem i amunicją, jak i miejsca zatopień broni chemicznej oraz konwencjonalnej. Największe skupiska znajdują się w rejonie Rynny Słupskiej oraz obszarze zalegania wraku T/S Franken, które stanowią przedmiot odrębnych planów neutralizacji. Niniejszy PNZ odnosi się do rejonu zatapiania amunicji konwencjonalnej i chemicznej – Głębi Gdańskiej, zarazem jednego z najistotniejszych, obok wraku T/S Franken źródeł zagrożeń w Zatoce Gdańskiej.

1.1 Opis i ocena stanu

Większość działań związanych z zatapianiem amunicji konwencjonalnej i chemicznej w morzu prowadzona była zaraz po zakończeniu II wojny światowej. Ten sposób utylizacji broni kontynuowano na świecie do czasu wejścia w życie Konwencji Londyńskiej o zapobieganiu zanieczyszczeniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji w 1972 r. Poniżej przedstawiono opis i ocenę stanu zatopionych materiałów niebezpiecznych, bazując na badaniach archiwalnych oraz zrealizowanych pracach badawczych na obszarze Głębi Gdańskiej z podziałem na broń chemiczną i broń konwencjonalną.

1.1.1 Broń chemiczna

1.1.1.1 Broń chemiczna w Morzu Bałtyckim

Zatopiona broń chemiczna to broń chemiczna, w rozumieniu definicji zawartej w Konwencji o zakazie broni chemicznej, która została zatopiona w morzu przed 1 stycznia 1985 r. i w nim pozostaje.

W Morzu Bałtyckim zatopiono głównie broń chemiczną wypełnioną bojowymi środkami trującymi wyprodukowanymi w Niemczech w okresie od 1935 do 1945 r. Szacuje się, że w tym okresie wyprodukowano około 65 000 ton bojowych środków trujących. W tabeli (Tabela 1) zestawiono masy i rodzaje strategicznych BST wyprodukowanych w Niemczech w tym okresie, natomiast w tabeli (Tabela 2) masę amunicji przejętej przez aliantów i przeznaczonej do zniszczenia z terytorium Niemiec po zakończeniu II wojny światowej.

Tabela 1. Bojowe środki trujące wyprodukowane w Niemczech w latach 1935–1945 (źródło: Kasperek, 2000)

BST	Masa [tony]
Iperyt siarkowy	25 000
Iperyt azotowy	2000
Chloroacetofenon	7100
Fosgen	5900
Adamsyt	3900
Clark I	1500
Clark II	100
Mieszanina związków arsenoorganicznych	7500
Tabun	12 000
Luizyt	Produkcja niewielka
Razem	65 000

Tabela 2. Amunicja chemiczna i BST zarekwirowane przez aliantów na terenie III Rzeszy Niemieckiej (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

Rodzaj amunicji	Strefa okupacyjna [t]			
	ZSRR	USA	Wielka Brytania	Francja
Amunicja chemiczna łącznie z masą metalu	62 500	94 000	122 500	9300
BST w pojemnikach	8000	10 500	4200	200

Rodzaj amunicji	Strefa okupacyjna [t]			
	ZSRR	USA	Wielka Brytania	Francja
Razem	70 500	104 500	126 700	9500
Ogółem	311 200			

Szczególną uwagę należy zwrócić na zasoby przejęte w strefie okupacyjnej ZSRR, gdyż głównie Rosjanie odpowiedzialni byli za zatapianie broni chemicznej w Morzu Bałtyckim. USA oraz Wielka Brytania dokonywały zatopień głównie w rejonie Skagerraku, natomiast Francja w rejonach Morza Północnego.

Broń chemiczną zatapiano w południowo-wschodniej części Głębi Gotlandzkiej (ok. 2000 ton), we wschodniej części Głębi Bornholmskiej (ok. 32 000 ton) oraz w cieśninie Mały Bełt (ok. 5000 ton). Ponadto odtajniona przez Niemcy dokumentacja wskazuje, że broń chemiczna zatapiana była także w rejonach na wschód (ok. 8000 ton) oraz na południowy zachód (ok. 15 000 ton) od Bornholmu. Do dnia dzisiejszego nie zweryfikowano jednak ani ilości, ani rodzaju zatopionej w tych miejscach broni chemicznej i BST. Broń chemiczna zarekwirowana w strefie okupacyjnej ZSRR zatapiana była w Morzu Bałtyckim głównie przez Rosjan do 1947 r. Należy jednak zaznaczyć, że już nieużyteczną (przeterminowaną), wycofaną z użytku broń chemiczną armie NRD i ZSRR zatapiały jeszcze długo po roku 1947. W przypadku NRD odtajnione dokumenty wskazują, że od 1959 do 1965 r. w rejonach na wschód oraz na południowy zachód od wyspy Bornholm zatopiono odpowiednio około 60 i 120 ton amunicji chemicznej, głównie bomb, pocisków i beczek zawierających iperyt siarkowy, fosgen, adamsyt oraz Clarki I i II. W tabeli (Tabela 3) przedstawiono masę i rodzaje amunicji i BST zatopione przez wojska NRD po 1952 r., natomiast w tabeli (Tabela 4) przedstawiono masę oraz rodzaje bojowych środków trujących zatopionych w potwierdzonych rejonach zatapiania w Morzu Bałtyckim.

Tabela 3. Rodzaje BST i amunicji chemicznej zatopionych przez NRD po 1952 r. (źródło: HELCOM, 2013)

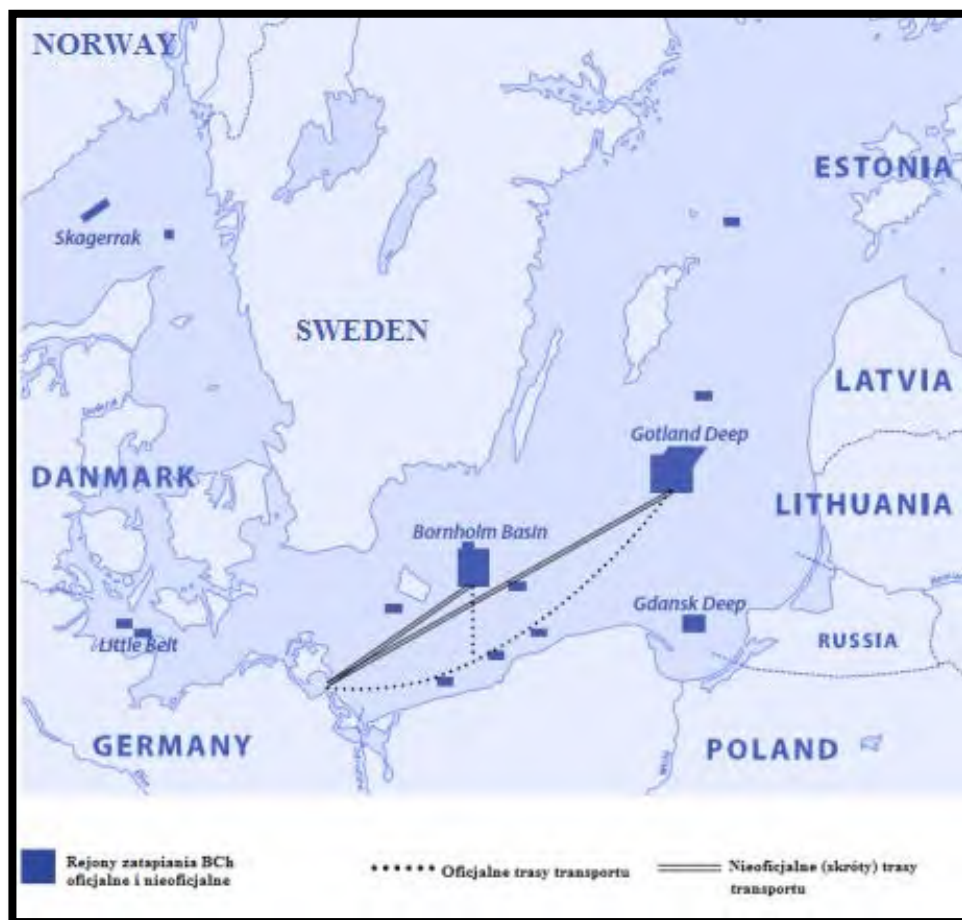
Rok	Rodzaj BST	Masa [tony]	Rodzaj amunicji
1959	Iperyt siarkowy	12	Bomby lotnicze
1960	Iperyt siarkowy, fosgen	10	Bomby lotnicze, butelki z fosgenem
1962	Iperyt siarkowy Fosgen Adamsyt Środki dymne	3	193 bomby lotnicze z iperytem siarkowym i fosgenem 1 beczka z iperytem siarkowym 1 beczka z fosgenem 7 beczek ze środkami dymnymi 1 barkę zatopiono
1963	Fosgen	brak typu amunicji	24 bomby lotnicze
1965	Iperyt siarkowy Chloroacetofenon	brak typu amunicji	33 granaty 1 bomba lotnicza 65 granatów

Tabela 4. Masa amunicji, masa i rodzaje BST zatopione w Morzu Bałtyckim (źródło: Kasperek, 2000)

Miejsce zatopienia	Masa amunicji [tony]	Bojowe środki trujące	
		Masa [tony]	Rodzaje
Głębia Bornholmska	32 000	11 000	Iperyt siarkowy, Clark, adamsyt, chloroacetofenon
Akwen na wschód od Bornholmu	8000 nieweryfikowana	b.d.	b.d.
Akwen na południowy zachód od Bornholmu	15 000 nieweryfikowana	b.d.	b.d.
Głębia Gotlandzka	2000	1000	Iperyt siarkowy, adamsyt, chloroacetofenon
Mały Belt	5000	750	Tabun, fosgen, iperyt siarkowy
Mäleskär	20 000 nieweryfikowana	b.d.	Iperyt siarkowy

Badania prowadzone w ramach projektu badawczego CHEMSEA wykazały, że BST znajdują się także w Głębi Gdańskiej, dotąd uznawanej za nieoficjalny rejon zatapiania broni chemicznej.

Na rysunku (Rysunek 4) przedstawiono miejsca zalegania broni chemicznej w Morzu Bałtyckim.



Rysunek 4. Rejony zatapiania broni chemicznej w Morzu Bałtyckim (źródło: Bełdowski i in., 2014)

Analiza dokumentów archiwalnych wykazała, że w południowej części Bałtyku Właściwego zatapiano przede wszystkim:

- iperyt siarkowy – różne mieszaniny;
- iperyt azotowy (niewielkie ilości);
- chloroacetofenon;
- adamsyt;
- fosgen;
- Clark I;
- Clark II;
- mieszaninę związków arsenoorganicznych (olej arsenowy);
- luizyt (niewielkie ilości).

W tej części Bałtyku nie należy spodziewać się amunicji wypełnionej związkami fosforoorganicznymi, takimi jak tabun, gdyż zdecydowana większość tego typu środków została przejęta przez wojska amerykańskie i brytyjskie, które na początku tego rodzaju amunicję zatopiły w statkach w rejonie Małego Bełtu, by następnie w latach 60. ubiegłego wieku wydobyć je i zatopić w głębszych obszarach Skagerraku.

Bojowe środki trujące zatapiano w następujących zasobnikach (Senat, 2021):

- pojemniki o pojemności od 500 do 1500 l;
- beczki o pojemności od 100 do 250 l;
- pociski artyleryjskie kalibru 73, 75, 77, 100, 105, 150 mm;
- pociski raketowe 150 mm;
- granaty moździerzowe 100 mm;
- bomby lotnicze KC500, KC250, KC50;
- chemiczne bomby dymne;
- granaty ręczne dymne, fugasy, miny lądowe chemiczne.

W tabelach (Tabela 5 i Tabela 6) przedstawiono masę, liczbę i rodzaje bojowych środków trujących oraz amunicji chemicznej zatapianej w Bałtyku Właściwym przez Rosjan.

Tabela 5. Rodzaje i masa BST zatopionych przez Rosjan w Bałtyku (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

Rodzaj amunicji	Rodzaj i masa BST [tony]					
	Iperyty siarkowy	Związki arsenowe	Adamsyt	Chloro-acetofenon	Cyklon B	Razem
Bomby lotnicze	6432	984	642	520	-	8578

Rodzaj amunicji	Rodzaj i masa BST [tony]					
	Iperyty siarkowy	Związki arsenowe	Adamsyt	Chloro-acetofenon	Cyklon B	Razem
Pociski artyleryjskie	729	-	66	39	-	834
Bomby lotnicze eksplodujące	341	-	-	-	-	341
Miny	46	-	-	-	-	46
Pojemniki	-	221	753	-	80	1141
Granaty dymne	-	-	71	-	-	71
Cysterny	-	1 004	-	-	-	1004
Beczki	-	-	20	-	-	20
Razem	7635	2209	1552	559	80	12 035

Tabela 6. Rodzaje i liczba amunicji zatopionej przez Rosjan w Bałtyku (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

Rodzaj amunicji	Rodzaj i liczba BST [sztuki]					
	Iperyty siarkowy	Związki arsenowe	Adamsyt	Chloro-acetofenon	Inne	Razem
Bomby lotnicze	71 469	9059	8081	5199	-	93 808
Pociski artyleryjskie	329 131	-	32 203	54 002	-	415 336
Bomby lotnicze eksplodujące	34 162	-	-	-	-	34 162
Miny	10 420	-	-	-	-	10 420
Granaty dymne	-	-	35 040	-	-	35 040
Pojemniki	-	1004	-	-	-	1004
Beczki	-	-	7526	-	-	7526
Baryłki	529	1558	693	-	600	3380
Puszki	-	-	-	-	7860	7860
Razem	445 711	11 621	83 543	59 201	8460	608 536

1.1.1.2 Broń chemiczna w polskich obszarach morskich

Polskie obszary morskie są określone na podstawie międzynarodowych konwencji i umów, a ich zewnętrzny zasięg wyznacza granica wyłącznej strefy ekonomicznej (WSE). Na obszarach tych w wyniku działań polskich służb morskich, aktywności rybackich, a także na podstawie opisanych złóż wytypowano sześć rejonów o łącznej powierzchni 439 km², na których istnieje ryzyko porażenia ludzi lub skażenia statków zatopioną bronią chemiczną. Są to: okolice Bornholmu, tj. pogranicze z duńską WSE o powierzchni ok. 220 km² oraz rejony niedaleko Dziwnowa (88 km²), Kołobrzegu (8 km²), Darłowa (8 km²) i Helu (8 km²) (Makles, Śliwakowski, 1997). Ocenia się, że takich miejsc może być nawet 60, a ilość amunicji chemicznej tam zatopionej szacuje się na 10 000–12 000 sztuk (Bełdowski i in., 2013). Szacunki te nie są jednak poparte badaniami i stanowią wyłącznie wnioski

wysunięte na podstawie analizy faktów wynikających z dotychczas zaistniałych zdarzeń. Jednak największym, biorąc pod uwagę ilość zatopionej broni chemicznej, „polskim” rejonem zatopienia broni chemicznej jest Głębia Gdańska o powierzchni ok. 100 ha, w której zatopiono około 60 ton amunicji zawierającej głównie gaz musztardowy (HELCOM, 2013).

Broń chemiczna na wskazanych powyżej akwenach znalazła się w wyniku jej zatapiania przez Republikę Weimarską i III Rzeszę Niemiecką, sowieckie wojska okupacyjne, NRD oraz ZSRR. W tabeli (Tabela 7) przedstawiono charakterystykę akwenów w polskich obszarach morskich, na których istnieje ryzyko kontaktu z bojowymi środkami trującymi, wraz z informacją o rodzaju broni chemicznej wyławianej na tych obszarach. Z kolei w tabeli (Tabela 8) zestawiono współrzędne geograficzne miejsc zatapiania amunicji oraz lokalizacje wraków z amunicją konwencjonalną, która mogła być zatapiana łącznie z bronią chemiczną, co zobrazowano na rysunku (Rysunek 5) względem obszaru badań. Należy jednak podkreślić, że obecnie brak jest dostępnych danych pozwalających na weryfikację tych informacji.

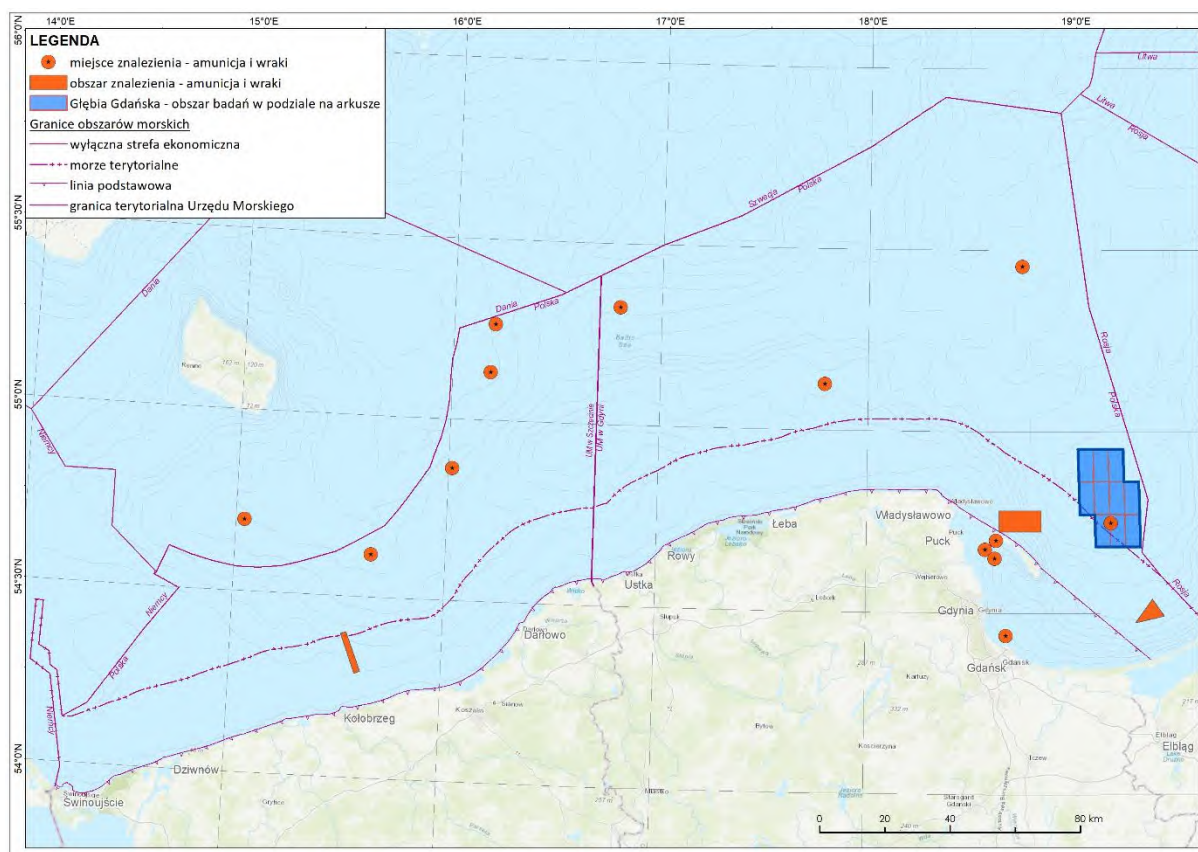
W pierwszej połowie lat 50. ubiegłego wieku pojawiły się również doniesienia o pojemnikach wypełnionych iperytem siarkowym wyrzucanych na brzeg wzdłuż polskiego wybrzeża, na południowy zachód od Bornholmu i wzdłuż szlaków komunikacyjnych w kierunku rejonów zatapiania w Głębi Gotlandzkiej i Bornholmskiej (Fabisiak, 2019).

Tabela 7. Akweny w polskich obszarach morskich, w których występuje ryzyko kontaktu z bojowymi środkami trującymi (źródło: opracowano na podstawie: A. Styczyński, na podstawie materiałów Szefostwa OPChem Sztabu Dowództwa Marynarki Wojennej RP, 2004; HELCOM 2013; J. Bełdowski i in., CHEMSEA FINDINGS – results from the chemsea project – chemical munitions search and assessment, Instytut Oceanologii PAN, Sopot, 2014)

Rejon	Charakterystyka hydrogeologiczna	Rodzaj amunicji
Bornholm	- głębokość: 70–105 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	Bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem, związkami arsenowymi
Dziwnów	- głębokość: 10–16 m - zasolenie: 7,5 PSU - temperatura przy dnie: śr. atm.	Pociski artyleryjskie z iperytem i związkami arsenowymi
Kołobrzeg	- głębokość: 65 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	Bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem i związkami arsenowymi
Darłowo	- głębokość: 90 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	Bomby z iperytem
Hel	- głębokość: do 117 m - zasolenie: niewielkie - temperatura przy dnie: 5–6°C	Bomby, amunicja artyleryjska, miny, pojemniki, kontenery z iperytem i związkami arsenowymi
Głębia Gdańska	- głębokość: 80–110 m - zasolenie: 7–16 PSU - temperatura przy dnie: 5–6°C	Bomby z iperytem; w rejonie zatapiano także amunicję konwencjonalną

Tabela 8. *Współrzędne amunicji i wraków zatopionych w polskich obszarach morskich (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)*

Lp.	Współrzędne geograficzne	Ogólne dane i rok pozyskania
1.	55°08'00" N; 16°11'00" E	Amunicja, 1940
2.	55°16'00" N; 16°12'00" E	Amunicja, 1940
3.	55°19'30" N; 16°48'00" E	Amunicja, 1940
4.	54°51'55" N; 16°01'05" E	Miny, 1951
5.	54°47'00" N; 18°38'00" E 54°47'00" N; 18°50'00" E 54°43'30" N; 18°38'00" E 54°43'30" N; 18°50'00" E	Nieokreślona liczba rozstrzelanej amunicji i min, 1943
6.	54°23'48" N; 15°31'20" E 54°24'09" N; 15°32'54" E 54°17'42" N; 15°37'18" E 54°17'18" N; 15°35'42" E	Niezdetonowana, wielkokalibrowa amunicja, dawny poligon Kriegsmarine, 1948–1950
7.	54°37'06" N; 15°39'00" E	Prawdopodobnie amunicja chemiczna, 1950
8.	55°07'42" N; 17°47'30" E	Tankowiec, 1955
9.	54°29'36" N; 19°25'06" E 54°32'24" N; 19°21'42" E 54°28'30" N; 19°16'54" E	Osiem wraków z amunicją
10.	54°42'02" N; 18°37'08" E	Barka z amunicją, 1959
11.	54°40'33" N; 18°34'00" E	Wrak statku z amunicją, 1960
12.	54°39'06" N; 18°36'48" E	Trałowiec z amunicją, 1964
13.	54°26'18" N; 18°40'05" E	W promieniu 80 m 15 pocisków dużego kalibru 150–200 mm, 1969
14.	54°45'00" N; 19°10'00" E	Tankowiec z amunicją, 1969
15.	54°41'51" N; 15°02'30" E	Bomba
16.	55°27'21" N; 18°44'30" E	Barka z ładunkiem paku smołowego, 1990



Rysunek 5. Lokalizacja amunicji i wraków zatopionych w polskich obszarach morskich (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

1.1.1.3 Incydenty z BST w polskich i sąsiadujących obszarach morskich

W polskich obszarach morskich zgłoszone przypadki wyłowienia lub wyrzucenia na plażę amunicji chemicznej lub bojowych środków trujących, głównie iperytu, datuje się od 1950 r. Przeprowadzone badania wykazują, że do dnia dzisiejszego wydarzyło się 30 incydentów z zatopioną bronią chemiczną, z czego 7 wystąpiło na plaży. Ostatni przypadek miał miejsce 9 stycznia 1997 r., 20 mil na północ od Władysławowa, a konsekwencją tego zdarzenia były poważne poparzenia iperytem 4 osób (Fabisiak, 2014).

Na podstawie przedstawionego przez stronę polską dokumentu „National report on war gases and ammunition dumped in the Polish Economic Zone of the Baltic Sea” (CHEMU 2/2/4) w raporcie Grupy Roboczej HELCOM CHEMU ujęto 16 przypadków wyłowienia w polskiej WSE lub znalezienia na plaży powojennej amunicji chemicznej oraz bojowych środków trujących (HELCOM, 1994; HELCOM, 1995). Należy jednak zaznaczyć, iż są to wyłącznie incydenty w pełni udokumentowane oraz zarejestrowane do końca 1993 r. Ze względu na brak możliwości wglądu do dokumentu oznaczonego numerem Chemu 2/2/4 nie jest możliwe określenie, które dokładnie przypadki kontaktu były przez HELCOM CHEMU zarejestrowane (raport informuje jedynie o liczbie incydentów zaistniałych w WSE).

Po 1993 roku w polskiej WSE zarejestrowano 2 przypadki kontaktu z zatopionymi w Bałtyku bojowymi środkami trującymi. Pierwszy z nich miał miejsce 24 kwietnia 1994 r. podczas połowów w kwadracie rybackim H9, na wschód od Bornholmu, gdzie wraz z siecią na pokład kutra wyciągnięta została bomba

chemiczna. Szyper polskiego kutra ŁEB-5 po stwierdzeniu, iż wraz z rybą wyłowił bombę iperytową, postanowił ją zdać władzom portowym w porcie Nexø na Bornholmie (Korzeniowski, 1997).

Drugi przypadek miał miejsce 9 stycznia 1997 r., na łowisku R-9 (20 mil na północ od Władysławowa – rejon nie był oznaczony na mapach jako miejsce zatopienia amunicji chemicznej) i dotyczył poparzenia iperytem 4 osób (w tym 3 członków załogi kutra WŁA-206). Bryła iperytowa o masie około 10 kg została wciągnięta na pokład kutra rybackiego podczas wybierania sprzętu połowowego (włoka dennego) na pozycji: 55°12' N, 018°38' E. Dotychczasowe przypadki kontaktu z zatopioną bronią chemiczną w polskiej WSE (łącznie ze strefą sporną z Danią do listopada 2018 r.) przedstawiono w tabeli (Tabela 9).

Tabela 9. Kalendarium incydentów z wyłowieniem (wyrzuceniem na plażę) amunicji chemicznej (BST) w polskich i sąsiadujących obszarach morskich (stan na 31.10.2018 r.) (źródło: S. Neffe (red.), Raport końcowy dotyczący kwestii zawartych w decyzjach nr 23 i 24, podjętych na 1 spotkaniu Grupy Ekspertckiej dotyczącej aktualizacji i rewizji dostępnych informacji o zatopionej broni chemicznej w Morzu Bałtyckim „HELCOM MUNI 1/2010”, Warszawa, 2011, s. 4–5)

Data	Miejsce zdarzenia	Lokalizacja	Rodzaj amunicji (BST)	Skażony obiekt	Liczba poszkodowanych
06.1952	Plaża	Dziwnów	Bomba z iperytem ²	-	-
06.1952	Na morzu	Na wschód od Bornholmu	Bomba z iperytem ²	Kuter rybacki ²	-
09.1952	Plaża	Kołobrzeg	Bomba z iperytem ²	-	-
02.1953	Plaża	Dziwnów	Bomba z iperytem ²	-	-
06.1954	Na morzu	Zatoka Gdańska	Bomba z iperytem ²	Kuter rybacki ²	-
09.1954	Plaża	Jurata	Iperyty ¹	-	-
11.1954	Plaża	Hel	Iperyty ²	-	-
07.1955	Plaża	Darłówek	Beczka z ciekłym BST (iperyty ²)	-	102 dzieci (ciężko porażonych: 4 ¹ , 7 ²)
05.1957 ²	Wydma nadmorska	Okolice Jarosławca	Cysterna ze związkami arsenoorganicznymi ³	-	-
05.1961 ²	Na morzu	Na północ od Kołobrzegu	Iperyty	Kuter KOŁ-56	4 rybaków
1963 ¹	Na morzu	Łowisko J-7	Sieć skażona iperytem	Kuter UST-2	3 rybaków
05.1964 ¹	Na morzu	Łowisko F-9	Fosgen	Kuter KOŁ-152	Załoga kutra
07.1967 ¹	Na morzu	Na wschód od Bornholmu Łowisko H-9	Skażona iperytem sieć	Kuter KOŁ-158	Załoga kutra
07.1969 ¹	Na morzu	Na wschód od Bornholmu Łowisko HJ-8	Skażona iperytem sieć	Kuter UST-3	Część załogi kutra
02.1971	Na morzu	Na północ od Helu ²	Iperyty ²	Kuter ²	-
08.1971 ²	Na morzu	Na północ od Helu	Iperyty	Kuter	-

Data	Miejsce zdarzenia	Lokalizacja	Rodzaj amunicji (BST)	Skażony obiekt	Liczba poszkodowanych
06.1974	Na morzu	Na południowy wschód od Bornholmu ²	Iperyty ²	Kuter ²	-
07.1974	Na morzu	Na południowy wschód od Bornholmu ²	Iperyty ²	Kuter ²	-
06.1976	Na morzu	Bornholm ²	Bomba iperytowa ²	Kuter DAR-69 ²	3 rybaków
06.1976	Na morzu	Na wschód od Bornholmu ²	Iperyty ²	Kuter DAR-51 ²	3 rybaków
06.1977	Na morzu	Środkowy Bałtyk	Bryła o masie 20 kg ¹	Kuter KOŁ-158	12 rybaków
06.1977	Na morzu	Środkowy Bałtyk na wschód od Bornholmu	Iperyty ²	Kuter DAR ²	-
07.1977	Na morzu	Środkowy Bałtyk na południowy wschód od Bornholmu	Iperyty ²	Kuter UST ²	-
07.1977	Na morzu	Środkowy Bałtyk	Iperyty ²	Kuter ²	-
05.1979	Na morzu	Bornholm	Iperyty	Kuter KOŁ-78	3 rybaków
05.1979 ²	Na morzu	Na południowy wschód od Bornholmu	Iperyty	Kuter rybacki	-
06.1979	Na morzu	Na północny zachód od Helu	Iperyty	Kuter WŁA-152	5 rybaków ¹ ; 1 rybak ²
1983 ¹	Na morzu		iperyty	Kuter WŁA	-
04.1994	Na morzu	Łowisko H-9, na wschód od Bornholmu	Bomba z iperytem	Kuter ŁEB-5	-
01.1997	Na morzu	Łowisko R-9, 20 mil na północ od Władysławowa	Iperyty	Kuter WŁA-206	4

¹wg Kasperka

²wg Szarejko i Namieśnik

³prawdopodobnie pozostały po I wojnie światowej olej arsynowy (niem. *Arsinöl*), czyli mieszanina trifenylarsyny, difenylchloroarsyny, fenylodichloroarsyny i trichloru arsenu (Konopski, 2009)

Analiza miejsc wypadków z BST wskazuje, iż zdecydowana większość przypadków występowała w rejonie na południe oraz na wschód od Basenu Bornholmskiego. Należy przypuszczać, że mogą to być obiekty wcześniej zatopione w Głębi Bornholmskiej, a następnie przemieszczone z prądem poza rejon ich zatopienia. Niektóre rejony przypadkowego wyłowienia amunicji leżą na szlakach przewozu broni chemicznej do Głębi Gotlandzkiej oraz Bornholmskiej, stąd wydaje się słuszny kolejny wniosek, że broń chemiczną zatapiano już podczas transportowania jej do docelowego rejonu zatopienia.

Jednak nie tylko rybacy wyciągają powojenną broń chemiczną w czasie połowu ryb. Amunicja znajdowana jest także podczas prac na dnie w pobliżu składowisk. Przykładem są prace związane z położeniem gazociągu Nord Stream I, podczas których znaleziono dwie bomby chemiczne KC250 z iperytem siarkowym oraz jeden obiekt, który zidentyfikowano jako tylną część bomby KC250. Bomby były mocno skorodowane, zewnętrzne kadłuby zostały naruszone, a w jednym przypadku prawie całkowicie się rozpadły. We wszystkich bombach widoczny był detonator zawierający ładunek wybuchowy (TNT) o masie 15 kg umieszczony w ich centralnej części. W pobliżu jednej z bomb widoczne były bryły iperytu siarkowego o masie około 20 kg, czyli 20% pierwotnej masy BST. Dalsze losy amunicji zostały utajnione przez spółkę Nord Stream AG, dlatego też nie są znane działania, które zostały wykonane z niebezpiecznymi obiektami.

1.1.1.4 Głębia Gdańska

Wskazany w wynikach projektu badawczego CHEMSEA obszar zatapiania broni chemicznej w Głębi Gdańskiej pierwotnie wyznaczony był jako rejon zatapiania amunicji konwencjonalnej (tak jest oznaczony na mapach morskich). Jest to obszar o średnicy 0,62 mili z punktem środkowym znajdującym się na pozycji 54°45' N i 19°10' E i głębokości od 80 do 110 metrów (Andrulewicz, 1996).

Dno Głębi Gdańskiej pokryte jest gliniastym błotem o miąższości do 1 metra. Tempo sedymentacji w tym obszarze wynosi 1,8 mm/rok (Bełdowski, Pempkowiak, 2007), co oznacza, że obiekty zalegające tam od 1945 r. mogą być pokryte 13 cm osadów. Woda przy dnie jest zazwyczaj beztlenowa, z okresowymi wlewami natlenionej wody z Morza Północnego, dotleniającymi ten obszar szczególnie podczas średniego i dużego napływu.

Podejrzanie obecności w tym rejonie także broni chemicznej (obok amunicji konwencjonalnej) po raz pierwszy zostało sformułowane w 1954 r., po dwóch incydentach z bronią chemiczną w tym rejonie: pierwszy, w czerwcu, kiedy to bomba z iperytem siarkowym została wytrafiona przez rybaków, oraz drugi, we wrześniu, kiedy to bomba z iperytem siarkowym została wyrzucona na brzeg na Półwyspie Helskim (Szarejko i Namieśnik, 2009). Po incydentach z 1954 r. w Zatoce Gdańskiej polska prasa opublikowała kilka artykułów wskazujących na raporty świadków o rzekomym zatapianiu w rejonie Głębi Gdańskiej także broni chemicznej.

Obszar ten częściowo został zbadany w ramach realizacji projektu CHEMSEA. Na podstawie badań magnetometrycznych i akustycznych wykryto cztery wraki i kilkadziesiąt obiektów przypominających amunicję. Wizualna inspekcja jednego z wraków zidentyfikowała go jako barkę, na której mogła być zatapiana amunicja. Niektóre obiekty w pobliżu rejonu zidentyfikowano jako pociski artyleryjskie (Szarejko i Namieśnik, 2009). W świetle dowodów oraz wykonanych badań, głównie analiz chemicznych pobranych osadów, Głębia Gdańska jest prawdopodobnie niewielkim wysypiskiem, a kilka ton amunicji chemicznej jest składowane tu obok amunicji konwencjonalnej. Na rysunku (Rysunek 6) przedstawiono mapę z rejonem zatapiania broni w Głębi Gdańskiej, a w tabeli (Tabela 10) zestawiono charakterystykę tego rejonu.



Rysunek 6. Składowisko broni chemicznej w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: HELCOM, 2013)

Tabela 10. Charakterystyka obszaru zatopień w Głębi Gdańskiej (źródło: HELCOM, 2013)

Parametr	Charakterystyka
Obszar	Głębokość: 80–110 m Dno: mulisty osad Powierzchnia: 100 ha (rejon zatapiania amunicji konwencjonalnej)
Okres zatapiania	Po 1954 r.
Port załadunku	b.d.
Ilość zatopionej amunicji	60 ton
Rodzaj BST	Iperyt siarkowy
Rodzaj zatopionej amunicji	Bomby lotnicze, pociski artyleryjskie
Sposób zatapiania w wyznaczonym rejonie	Zatopiono również statki
Zatapianie na trasie transportu	b.d.
Mieszanka z amunicją konwencjonalną	Tak
Ostrzeżenia na mapach morskich	Amunicja wybuchowa, niebezpieczeństwo podczas kotwiczenia i połowów dennych
Incydenty	Tak

Parametry techniczne broni chemicznej oraz materiał fotograficzny pozwalający na identyfikację rodzaju amunicji dostępne są w katalogu amunicji zatapianej w Morzu Bałtyckim, opracowanym w ramach projektu DAIMON na stronie <http://dss.amw.gdynia.pl/catalog/>.

1.1.2 Broń konwencjonalna

Morze Bałtyckie jest jednym z europejskich akwenów o największej koncentracji niewybuchów i pozostałości wojennych (UXO – *Unexploded Ordnance*). Problem ten jest bezpośrednią konsekwencją dwóch wojen światowych, podczas których Bałtyk był areną intensywnych działań wojennych, oraz powojennych operacji zatapiania przechwyconej amunicji.

Po zakończeniu II wojny światowej na dno Morza Bałtyckiego trafiło według różnych szacunków od 300 000 do 385 000 ton amunicji konwencjonalnej. Były to bomby, torpedy, rakiety, miny morskie, bomby głębinowe, pociski artyleryjskie, materiały wybuchowe, paliwa i inne środki bojowe. Sama tylko strefa wód niemieckich zawiera ponad 300 000 ton pozostałości po I i II wojnie światowej.

Zatapianie amunicji rozpoczęło się tuż po zakończeniu wojny w 1945 r. i trwało do 1949 r. w przypadku Niemiec. Dopiero Konwencja z Oslo i Londynu z 1972 r. wprowadziła regulacje dotyczące zatapiania substancji w morzu, a całkowity zakaz zatapiania wszedł w życie w 1996 r.

Do głównych miejsc składowania amunicji na Bałtyku należą:

- na południowy wschód od Gotlandii – głębokości 100–130 m;
- na wschód od Bornholmu – głębokości ok. 90 m;
- Głębia Gdańska – głębokość ok. 100 m;
- Cieśnina Skagerrak – składowisko USA i Wielkiej Brytanii;
- Kolberger Heide – wody niemieckie;
- Ławica Orla i Zatoka Meklemburska – składowiska NRD;
- Mały Bełt – głębokości ok. 30 m.

1.1.2.1 Zagrożenia minowe

W trakcie I i II wojny światowej na Morzu Bałtyckim postawiono od 165 000 do 180 000 min morskich. Z tej liczby wytrałowano lub przemieszczono 35 000–50 000 sztuk. Szacuje się, że od 16 000 do 61 000 min wciąż pozostaje na dnie, co stanowi 10–35% ogólnej liczby postawionych min (Möller, Edfors, 2007; Nillson, 2017; HELCOM, 2018; Szczerkowski, 1965)

W polskich obszarach morskich postawiono łącznie 2283–2726 min morskich, w tym 637–747 min kontaktowych i 1627–1979 min niekontaktowych. Stosowano około 100 różnych typów zapalników niekontaktowych (elektromagnetyczne, elektroakustyczne, ciśnieniowe), co ogromnie komplikuje prace rozminowania (Szczerkowski, 1965; Karwan, 2009). W poniższej tabeli przedstawiono szacunkową liczbę min morskich na Morzu Bałtyckim (Tabela 11).

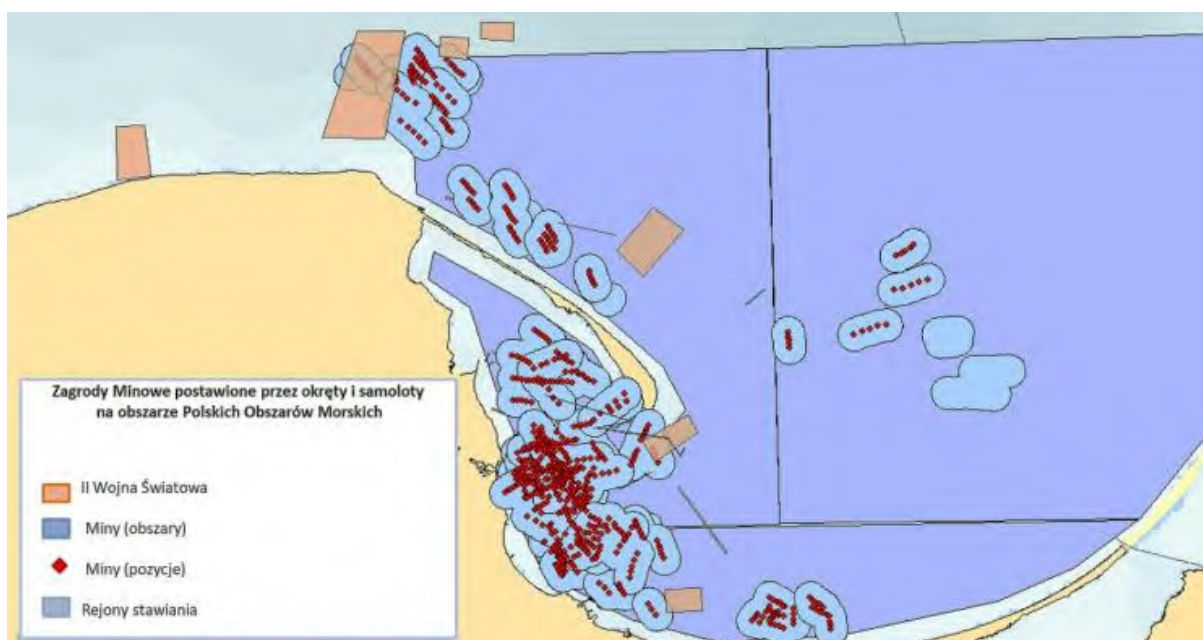
Tabela 11. Szacunkowa liczba min morskich na Morzu Bałtyckim (źródło: opracowanie własne na podstawie: Möller i Edfors, 2007; Nillson, 2017; HELCOM, 2018; Szczerkowski, 1965; Karwan, 2009)

Parametr	Szacunek minimalny [szt.]	Szacunek maksymalny [szt.]
Miny postawione ogółem (Bałtyk)	165 000	180 000
Wytrałowane/przemieszczone	35 000	50 000
Pozostające na dnie	16 000	61 000
Miny w polskiej strefie, w tym:	2264	2726
kontaktowe,	637	747
niekontaktowe	1627	1979

1.1.2.1.1 Zagrody minowe na Zatoce Gdańskiej

Zatoka Gdańska była jednym z najważniejszych akwenów operacyjnych podczas II wojny światowej. Prowadzono tu intensywne operacje minowe zarówno przez siły alianckie (głównie RAF), jak i niemiecką Kriegsmarine. Po wojnie stała się również miejscem zatapiania przejętej amunicji. W Zatoce Gdańskiej zidentyfikowano 14 zagród minowych, obejmujących łącznie powierzchnię ok. 900 mil morskich kwadratowych (NM²) zagrożonego akwenu. Strefa zaminowana przez siły brytyjskie obejmowała natomiast ok. 3087 km² (Janik, 2011).

Zagrody minowe pochodzenia historycznego postawione przez siły okrętowe (nawodne i podwodne) oraz lotnictwo na wodach Zatoki Gdańskiej odwzorowane na mapach Centrum Wojny Minowej (Centrum Operacji Morskich – Dowództwo Komponentu Morskiego) zaprezentowane zostały na rysunku (Rysunek 7).



Rysunek 7. Zagrody minowe oraz rejony minowania prowadzone na Zatoce Gdańskiej w czasie II wojny światowej (źródło: Centrum Wojny Minowej COM-DKM)

Obszar minowania pokrywa się częściowo z obszarem badawczym określonym w projekcie dotyczącym Głębi Gdańskiej. Z tego też względu przyjęto założenie, iż w obrębie Głębi Gdańskiej znajdować się mogą miny morskie. Poniżej przedstawiono wyniki analiz historycznych dotyczących aktywności minowej wojsk brytyjskich (minowania powietrzne) oraz niemieckich z czasów II wojny światowej.

1.1.2.1.2 Minowania brytyjskie

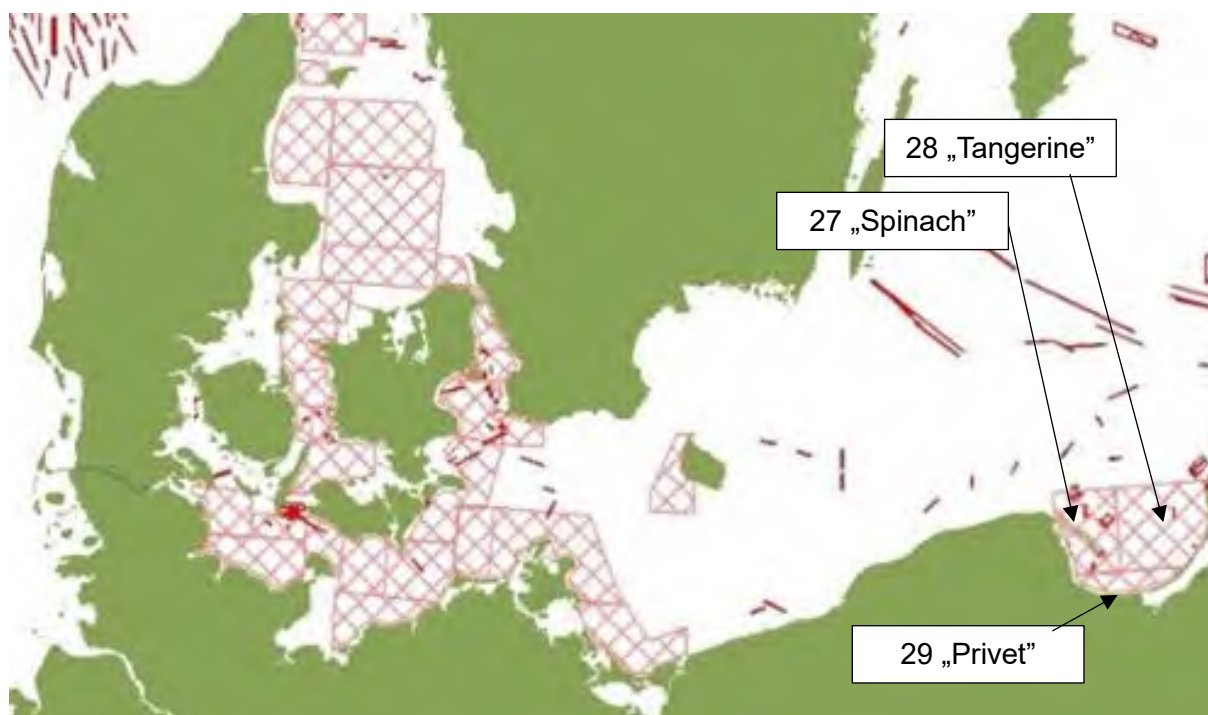
Królewskie Siły Powietrzne (RAF) Bomber Command prowadziły zakrojone na szeroką skalę operacje minowania Bałtyku w latach 1940–1945. Łącznie postawiono 15 404 min na Bałtyku oraz w Cieśninach Kattegat i Skagerrak. Jedną z najważniejszych operacji była Operacja „Marlin” (17 kwietnia – 6 czerwca 1944 r.), w ramach której zrzucono ok. 2000 min w celu unieruchomienia floty niemieckiej w Zatokach: Meklemburskiej, Gdańskiej, Pomorskiej, Kilońskiej oraz Cieśninach Duńskich. W tabeli (Tabela 12)

przedstawiono strefy minowania RAF także w Zatoce Gdańskiej i ich oznaczenia kryptonimami, natomiast na rysunku (Rysunek 8) zobrazowano ich lokalizację.

Tabela 12. Numery oraz oznaczenia kodowe stref minowania (wybrane) (źródło: Smith, 2016)

Nr strefy	Lokalizacja i oznaczenie strefy
23	Warnemünde – Jasmine
24	Sassnitz (Arcone to Dziwna River) – Willow
25	Bornholm – Pollock
26	Swinemünde – Geranium (wybrzeże polskie)
27	Gdynia – Spinach (wybrzeże polskie)
28	Pillau – Tangerine (dzisiejszy Bałtyjsk)
29	Danzig – Privet (wybrzeże polskie)

Ustalono, iż ofensywne działania minowe lotnictwa brytyjskiego obejmowały region Gdynia (nr 27 kryptonim Spinach), oraz Danzig (kryptonim Privet, nr 29), jak i Pillau (nr 28 Tangerine) (Rysunek 8) (Szajna, 1975).



Rysunek 8. Obszary 27, 28 oraz 29 prowadzenia minowania przez lotnictwo brytyjskie (Gardening) (źródło: fragm. Wikstrom J., 2007.)

Szacunki dotyczące liczby min brytyjskich postawionych w Zatoce Gdańskiej różnią się w zależności od źródeł. W tabeli (Tabela 13) przedstawiono dane dotyczące liczby min brytyjskich w Zatoce Gdańskiej.

Tabela 13. Szacunki liczby min brytyjskich w Zatoce Gdańskiej (źródło: Pitchfork, 2009)

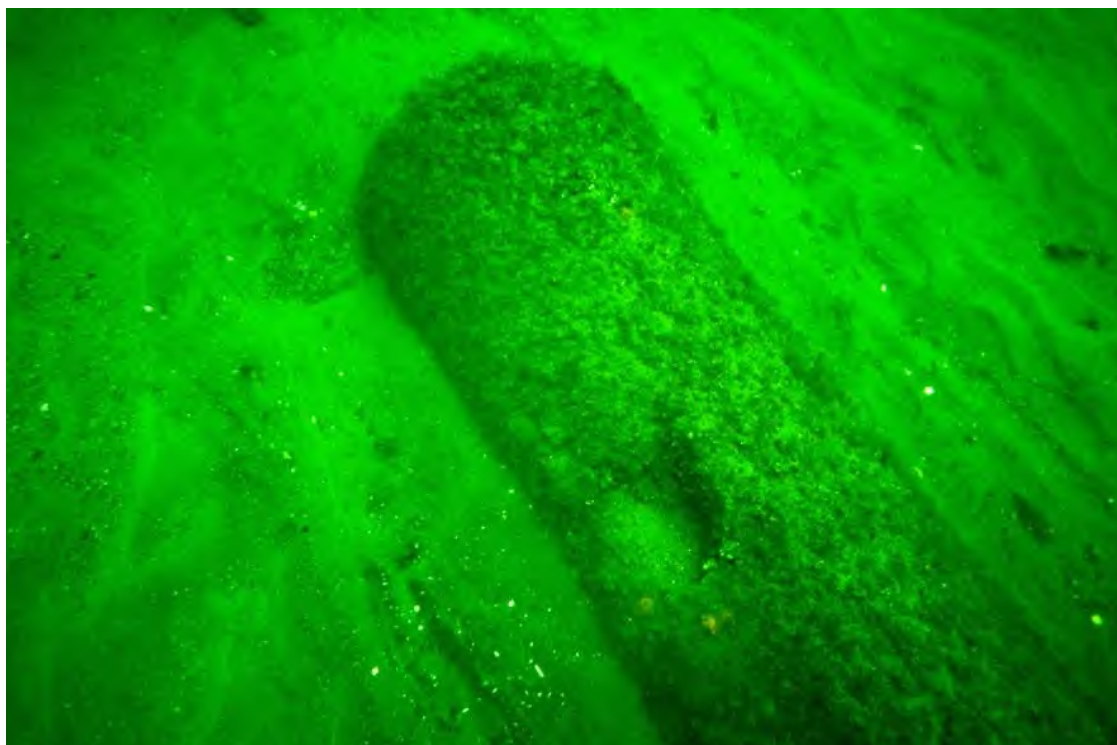
Źródło szacunku	Liczba min [szt.]
Podstawowy szacunek	~1069
W tym z samolikwidatorami	129
Szacunek brytyjski (ogółem)	1444
Gotowych bojowo po wojnie	~1000
Szacunek Floty Radzieckiej	1800

Lotnictwo brytyjskie używało kilku typów min, które były wersjami modernizacyjnymi miny A (*airborne* – powietrzna) Mk I, przeznaczonej do zrzucania z pułapu ok. 60 do 460 m o masie ok. 680 kg, w późniejszych wersjach A Mk I–IV nawet 4500 m. Ładunek niszczący min Mk I obejmował ok. 340 kg materiału wybuchowego [amatol – mieszaniny azotanu amonu oraz trotylu w proporcji około 80/20 o energii wybuchu ok. 126–130% TNT (Cichocki, 2006) lub minol (RAF Bomber Command..., 2016)]. Wymiary miny obejmowały ok. 3,05 m długości i 457 mm średnicy, włączając w to przedział spadochronowy i przedział zapalnika. W kolejnych latach wprowadzono nieco mniejszą wersję miny o masie ok. 454 kg. Wersja Mk VI (od 1944 r.), ważyła najwięcej ze wszystkich poprzednich typów – ok. 907 kg – oraz wyposażona została w najbardziej zaawansowany system zapalników niekontaktowych (Pitchfork, 2009). W tabeli (Tabela 14) przedstawiono główne typy min brytyjskich stosowane w Zatoce Gdańskiej.

Tabela 14. Główne typy min brytyjskich stosowanych w Zatoce Gdańskiej (źródło: Pitchfork, 2009)

Typ miny	Masa [kg]	Materiał wybuchowy	Masa MW [kg]	Średnica [mm]
A Mk I	680	Amatol/minol	340	457
A Mk I–IV	700	Amatol	325	450
A Mk IV (mniejsza)	454	–	–	–
A Mk VI	907	Amatol (454 kg) lub minol (499 kg)	454–499	–

Szczególnie groźna jest mina **A Mk VI** – wprowadzona od 1944 r., wyposażona w najbardziej zaawansowany system zapalników niekontaktowych. Jej baterie miały żywotność projektową 6 lat, ale w praktyce działały nawet 10 lat. Strefa bezpieczeństwa dla statków wynosiła 730–960 m (<http://dss.amw.gdynia.pl/catalog/>).

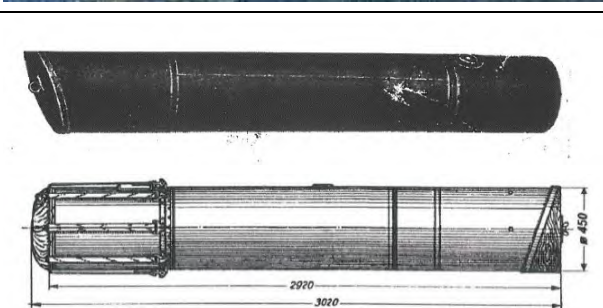


Rysunek 9. Mina A Mark VI w pobliżu wejścia do portu handlowego Gdynia (źródło: zbiory własne autora – 13. Dywizjon Trałowców)



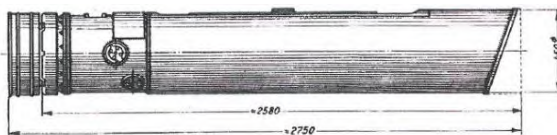
Rysunek 10. Mina Mark IV podjęta na pokład niszczyciela min (źródło: zbiory własne autora – 13. Dywizjon Trałowców)

Tabela 15. Opis brytyjskiej miny dennej Mk I–IV (źródło: opracowanie własne z realizowanych wcześniej prac projektowych)

Brytyjska morska mina denna niekontaktowa A Mk I-IV	
Ogólna charakterystyka obiektu	
Wymiary - długość – ok. 2920–3020 cm - średnica/kaliber – 450 mm Masa – 700 kg Rodzaj MW – amatoł Masa MW – 325 kg Urządzenia dodatkowe	
Wygląd/oznaczenia szczególne Mina denna o kształcie cylindrycznym z charakterystycznie ściętym „nosem” w części przedniej (zapalniki) oraz płaskim w przedziale spadochronowym	
Ostrzeżenia Na pokładzie miny znajduje się znaczna masa materiału wybuchowego o dużym promieniu rażenia w powietrzu w przypadku pobudzenia	
Uwagi Miny zrzucone przez lotnictwo brytyjskie w rejonie Zatoki Gdańskiej w ramach minowych działań ofensywnych. Z uwagi na kilkaset sztuk zrzuconych w czasie działań uznać należy, iż spoczywają one na dnie morza po dzień dzisiejszy	
Źródła informacji: www.lancaster-ed559.co.uk (dostęp: 17.05.2025).	

Opis oraz wygląd min Mk VI przedstawiono w tabeli (Tabela 16).

Tabela 16. Opis brytyjskiej miny dennej Mk VI (źródło: opracowanie własne z realizowanych wcześniej prac projektowych)

Brytyjska morska mina denna niekontaktowa A Mk VI	
Ogólna charakterystyka obiektu	
Wymiary - długość – 450 cm - średnica/kaliber – 907 mm Masa – 454 kg Rodzaj MW – amatoł Masa MW – minoł 499 kg Urządzenia dodatkowe	
Wygląd/oznaczenia szczególne Wygląd zbliżony do miny A Mk I–IV z rozwiniętą technologią zapalników niekontaktowych	
Ostrzeżenia Na pokładzie miny znajduje się znaczna masa materiału wybuchowego o dużym promieniu rażenia w powietrzu w przypadku pobudzenia. Strefa bezpieczeństwa dla statku 730–960 m, dla budowli 173 m	
Uwagi Mina stanowi modyfikację wcześniejszych wersji A Mk I–IV, o zwiększonej masie. Podobnie jak miny A Mk VI wchodziły w skład uzbrojenia wykorzystywanego przez brytyjskie siły powietrzne realizujące minowe działania ofensywne na akwenie Zatoki Pomorskiej	
Źródła informacji: - materiały MW RP, - http://polska-zbrojna.pl/ (dostęp: 17.05.2025)	

Pomimo upływu wielu dziesiątek lat miny brytyjskie wciąż uznać należy za obecne na dnie Zatoki Gdańskiej, o czym świadczą przeprowadzane w ostatnich latach akcje neutralizacji tego typu obiektów przez jednostki Marynarki Wojennej RP, prowadzone zarówno na obszarach przyportowych, jak i na torach podejściowych i kotwiczniskach portów Zatoki Gdańskiej. Obiekty tego typu ujawnione mogą zostać także podczas prac pogłębiarskich związanych z ingerencją w dno morza.

1.1.2.1.3 Minowania niemieckie

W przeciwieństwie do działań brytyjskich, niemieckie operacje minowe realizowane na wodach Zatoki Gdańskiej podczas II wojny światowej prowadzone były z pokładów okrętów. Wśród min wykorzystywanych do minowania wód Zatoki Gdańskiej przez oddziały niemieckie były:

- miny denne niekontaktowe (wzoru C oraz D);

- miny kotwiczne (UMA);
- ochroniacze pól minowych.

Główna zagroda minowa nr 19 obejmowała powierzchnię 880 NM² i zawierała ok. 700 min dennych. Zestawienie niemieckich zagród minowych na Zatoce Gdańskiej obejmujące numer zagrody, typy oraz wzory wykorzystanego uzbrojenia, a także liczbę min i powierzchnię akwenu uznanego za zagrożony minami zaprezentowane zostało w tabeli (Tabela 17) oraz na rysunku (Rysunek 7).

Tabela 17. Niemieckie zagrody minowe na akwenu Zatoki Gdańskiej (źródło: Janik, 2011)

Nr zagrody minowej	Rejon	Typ i wzór postawionych min	Liczba min [szt.]	Powierzchnia akwenu zagrożonego minami [km ²]
3	Port Gdynia	Niekontaktowe denne	64	51,4
4	Port Gdańsk	Niekontaktowe denne (m.in. wz. CiD)	14 (CiD) + 10	50,4
8	Na północ od portu Gdynia	Kotwiczne wz. UMA	24	71,7
9	Port Gdańsk	Niekontaktowe denne	11	10,3
10	Podejście do przekopu Wisły	Kotwiczne wz. UMA ochroniacze	16 6	120,1
15	Cypel Hel	Kotwiczne	20	139,9
16	Na północ od cypla Hel	Kotwiczne wz. Pł/T	20	196,9
19	Zatoka Gdańska	Niekontaktowe denne wz. A-IV	700	3018,4

Najbardziej niebezpiecznym typem miny niemieckiej jest mina GC (LM) o masie całkowitej 987 kg, zawierająca 697 kg heksanitu jako materiału wybuchowego. Strefa niebezpieczna dla osób kąpiących się wynosi ponad 10 km. Informacje dotyczące materiałów wybuchowych wykorzystywanych do elaborowania¹⁰ niemieckich min dennych i kotwicznych zaprezentowano w tabeli (Tabela 18).

Tabela 18. Charakterystyka materiałów wybuchowych stosowanych w minach morskich (źródło: MON, 2012)

Charakterystyka	Materiał wybuchowy					
	Trotyl	Heksogen	Pentryt	Tetryl	Minol-P	Torpex
Gęstość [kg/m ³]	1666	1820	1733	1730	1680	1820
Współczynnik [k]	1,0	1,62	-	-	1,37	1,44

Niekontaktowa mina denna GC (Rysunek 11) to mina spadochronowa z odłączanym zasobnikiem spadochronowym. Była ona podstawową najczęściej stawianą miną niekontaktową. Stawiana była z pokładów nosicieli powietrznych (samolotów) oraz z pokładów okrętów nawodnych (bez zasobnika

¹⁰W terminologii wojskowej oznacza napełnianie lub przygotowywanie min morskich lub lądowych materiałami wybuchowymi, tak aby były gotowe do użycia.

spadochronowego), wykorzystywana do blokowania wód i portów Zatoki Gdańskiej przez siły niemieckie. Podstawowe dane miny morskiej GC zaprezentowano w tabeli (Tabela 19).



Rysunek 11. Mina morska typu GC (źródło: www.iwm.org.uk/collections/item/object/30020471; dostęp: 05.05.2015)

Tabela 19. Podstawowe dane taktyczno-techniczne niekontaktowej miny dennej GC (źródło: www.iwm.org.uk; dostęp: 02.07.2015)

Niekontaktowa mina denna GC			
Długość [cm]	264	Długość części bojowej [cm]	178
Średnica [cm]	66	Długość przedziału spadochronu [cm]	66
Masa [kg]	987	Zapalnik	Magnetyczny, akustyczny lub magneto-akustyczny
Masa materiału wybuchowego [kg]	697	Opóźniacz	Od 20 minut do 6 dób
Rodzaj materiału wybuchowego	Heksanit	Materiał korpusu	Aluminium

Parametry techniczne innych rodzajów amunicji dostępne są w katalogu amunicji zatapianej w Morzu Bałtyckim, opracowanym w ramach projektu DAIMON na stronie: <http://dss.amw.gdynia.pl/catalog/>.

Na Zatoce Gdańskiej znajdowały się również niemieckie poligony torpedowe:

- Gdynia–Hel (kurs 328°);
- Jurata–Bór (kurs 292°).

Stosowane na tych poligonach torpedy to m.in. G7a (53 cm, parogazowa) i F5b (45 cm, lotnicza).

1.1.2.2 Amunicja konwencjonalna zatapiana w rejonie Głębi Gdańskiej

Główne składowisko amunicji konwencjonalnej zlokalizowano w południowej części Głębi Gdańskiej (obszar o średnicy 1200 m i głębokości ok. 100 m przebiega z północy ku południu). Współrzędne środkowego punktu 54°45' N, 019°10' E (SENAT RP, 2021). Należy podkreślić, że precyzja nawigacji w czasie powojennych operacji zatapiania była bardzo niska. Amunicję zatapiano często po trasie rejsu, w dryfie, pod wpływem warunków pogodowych i stresu załóg. Oznacza to, że rzeczywisty obszar rozproszenia amunicji może być znacznie większy niż nominalna średnica składowiska.

Badania niemieckich materiałów archiwalnych wskazują, że na obszarze Zatoki Gdańskiej znajduje się także niewielki skład amunicji III/1, gdzie głębokość wody wynosi około 110 m. Nie są jednak znane informacje na temat rodzaju i ilości amunicji zatopionej w tym miejscu (*Mitglied ...*, 1970).

Według niepełnych danych w 1946 r. podczas samej operacji rozminowywania Wybrzeża Gdańskiego zgromadzono ponad 1000 ton amunicji i materiałów wybuchowych różnych typów (DMW 063/9/1947, 31.12.1946). Zebraną amunicję składowano w składnicy w Wąwozie Ostrowickim (zabezpieczono ok. 25 ton amunicji), poddawano sortowaniu i częściowo konserwacji (Waśko, 1974). Do wytwórni w Skarżysku Kamiennej odesłano 562 tony amunicji, a 36 ton do Warsztatów Uzbrojenia w Piotrkowicach Górnych. W morzu zatopiono około 95 ton, 80 ton wysadzono, 18 ton spalono, a 200 ton pozostało do dalszego posortowania (DMW 063/9/1947, 31.12.1946).

W kolejnych latach rozminowywano poszczególne miejscowości nadmorskie, drogi, linie kolejowe i obszary portowe. O skali mówić mogą liczby opisujące efekty prac kontrolnych prowadzonych na Półwyspie Helskim w okresie od 5 czerwca do 15 lipca 1953 r., podczas których wykryto 1840 pocisków różnego kalibru, 11 070 kg amunicji wszelkiego rodzaju, 475 min moździerzowych, 340 pancerzownic, 380 granatów ręcznych, 8 bomb lotniczych 50-kilogramowych, 2300 zapalników i 80 kg materiałów wybuchowych (Waśko, 1974).

Opublikowany w 2024 r. Raport HELCOM wskazuje na przewidywania co do obecności amunicji zatapianej przez Związek Radziecki. Dane dotyczą zarówno amunicji przejętej po wojskach III Rzeszy, jak i amunicji porzuconej lub celowo zatopionej przez jednostki Armii Czerwonej wycofującej się z baz radzieckich w krajach postkomunistycznych w 1992 r. Nie ma jednak szczegółowych informacji umożliwiających zidentyfikowanie rodzajów amunicji oraz miejsc jej zatapiania (Bełdowski i in., 2024).

Na podstawie analizy historycznych źródeł i badań terenowych stwierdzono, że na dnie Głębi Gdańskiej może zalegać szeroki wachlarz typów amunicji, który przedstawiono w tabeli (Tabela 20).

Tabela 20. Typy amunicji potencjalnie zalegającej na dnie Głębi Gdańskiej (źródło: Waśko, 1974)

Kategoria	Opis/przykłady
Amunicja strzelecka	Naboje karabinowe i pistoletowe
Pociski artyleryjskie	Granaty, ładunki miotające, amunicja przeciwlotnicza kal. 2–40,6 cm
Bomby lotnicze	Masa 1–1000 kg
Miny morskie	Kotwiczne i denne
Torpedy	Torpedy i głowice bojowe torped
Bomby głębinowe	Różnych typów i kalibrów
Miny lądowe	Przeciwpiechotne i przeciwpancerne
Rakiety	Średnica do 32 cm
Granaty	Ręczne, moździerzowe i inne
Amunicja specjalna	Karabinowe granaty ppanc., pancerzownice raketowe i bezodrzutowe
Materiały wybuchowe	Różnego typu, luzem

1.1.2.3 Materiały wybuchowe

Amunicja zalegająca na dnie Głębi Gdańskiej zawiera różne typy materiałów wybuchowych. Ich siła wybuchu jest porównywana z trotylem (TNT) – posługując się współczynnikiem k . Współczynnik $k > 1$

oznacza, że dany materiał jest silniejszy od TNT. W tabeli (Tabela 21) przedstawiono charakterystykę materiałów wybuchowych stosowanych w amunicji zatopionej w Głębi Gdańskiej.

Tabela 21. Materiały wybuchowe zawarte w amunicji zalegającej na dnie (źródło: NO-07-A108, Procedury działań morskich. Działania przeciwminowe. Zastosowanie niszczycieli min; Cichocki, 2016)

Materiał wybuchowy	Gęstość [kg/m ³]	Współczynnik k (vs TNT)	Zastosowanie
Trotyl (TNT)	1666	1,00	Standard odniesienia
Heksogen	1820	1,62	Zapalniki, wzmacniacze
Minol-P	1680	1,37	Miny brytyjskie A Mk VI
Topex	1820	1,44	Amunicja specjalna
Pentryt	1733	–	Zapalniki, spłonki
Tetryl	1730	–	Zapalniki detonujące
Amatol (80/20)	~1600	~1,26	Miny brytyjskie A Mk I–IV
Heksanit	~1700	~1,30	Miny niemieckie GC

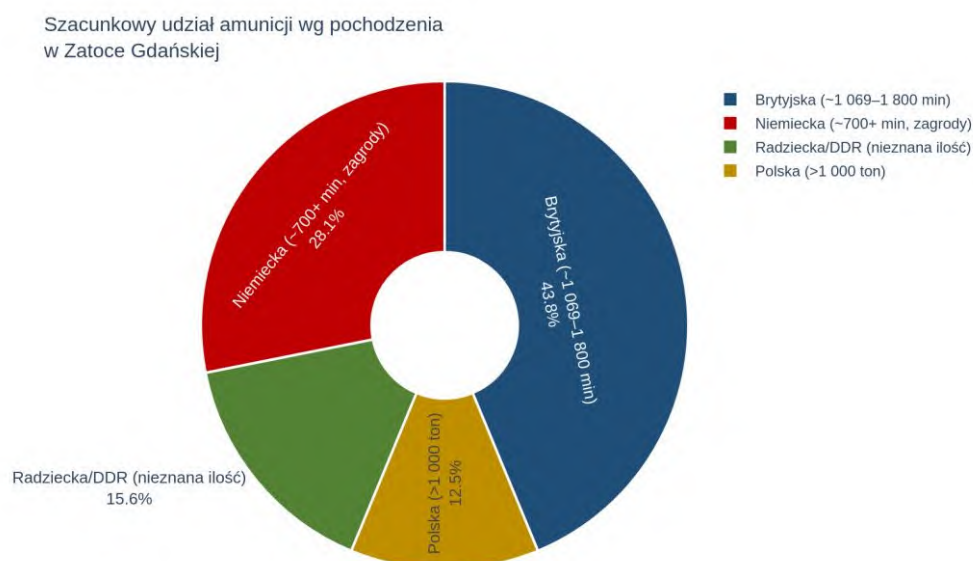
1.1.2.4 Działania ZSRR i NRD

Siły radzieckie prowadziły zatapianie przejętej amunicji w trzech głównych rejonach Bałtyku: na południowy wschód od Gotlandii, na wschód od Bornholmu oraz w Głębi Gdańskiej. W 1954 r. NRD przeprowadziła operację zatopienia materiałów w Głębi Gdańskiej – oficjalnie opisywanej jako „amunicja konwencjonalna”. Dostęp do archiwów rosyjskich dotyczących tych operacji jest praktycznie niemożliwy – ostatnie udostępnienie danych miało miejsce w 2005 r. w związku z budową Nord Stream.

1.1.2.5 Działania polskie

W 1946 r. podczas rozminowania Wybrzeża Gdańskiego zebrano **ponad 1000 ton** amunicji. Potwierdzono przypadki zatapiania amunicji w morzu przez oddziały Wojska Polskiego w latach 1945–1946.

Reasumując, najwięcej broni zatopiono podczas operacji brytyjskich i niemieckich. Szacunkowe udziały pochodzenia broni zatopionej w Zatoce Gdańskiej zaprezentowano na wykresie (Rysunek 12).



Rysunek 12. Szacunkowy udział amunicji wg pochodzenia w Zatoce Gdańskiej (źródło: opracowanie własne)

1.1.2.6 Rozminowywanie Zatoki Gdańskiej

Prace rozminowywania prowadzono intensywnie od zakończenia wojny. Łącznie na Zatoce Gdańskiej zneutralizowano 208 min morskich (122 kontaktowych i 86 niekontaktowych). Największe operacje rozminowywania miały miejsce w latach 1945–1950. Zestawienie min morskich zneutralizowanych na akwenach Zatoki Gdańskiej zaprezentowano w tabeli (Tabela 22).

Tabela 22. Wykaz min zneutralizowanych w Zatoce Gdańskiej w wybranych okresach (źródło: N.K. Zagrożenie minowe w 25 lat po wojnie, Przegląd Morski, nr 1, 1971, s. 40; D. Grabiec, A. Komorowski, J. Kuliś, P. Mickiewicz, I. Pomian, A. Szulczewski, Obiekty podwodne i militaria Zatoki Gdańskiej, Wydawnictwo Diecezji Pelplińskiej Bernardinum, Gdynia 2001, s. 112 i 139, dane z zadań niszczenia obiektów niebezpiecznych)

Okres	Rejon	Zlikwidowane miny		Razem
		Kontaktowe	Niekontaktowe	
1945–1947	Port Gdańsk		8	8
	Port Gdynia		11	11
1945–1950	Zatoka Gdańska	113	51	164
1947	Rozewie	4		4
1945–1949	Zatoka Gdańska		4	4
1949	Hel		1	1
1962	Gdynia		1	1
1964	Gdynia		1	1
1965	Nowy Port		1	1
1997	Gdynia		1	1
1998	Gdynia		1	1
2015	Gdynia		4	4
2015	Zatoka Gdańska		2	2
2020	Wejście do Portu Gdynia	1		1
2022	Port Gdynia	3		3
2023	Port Gdynia	1		1
Razem		122	86	208

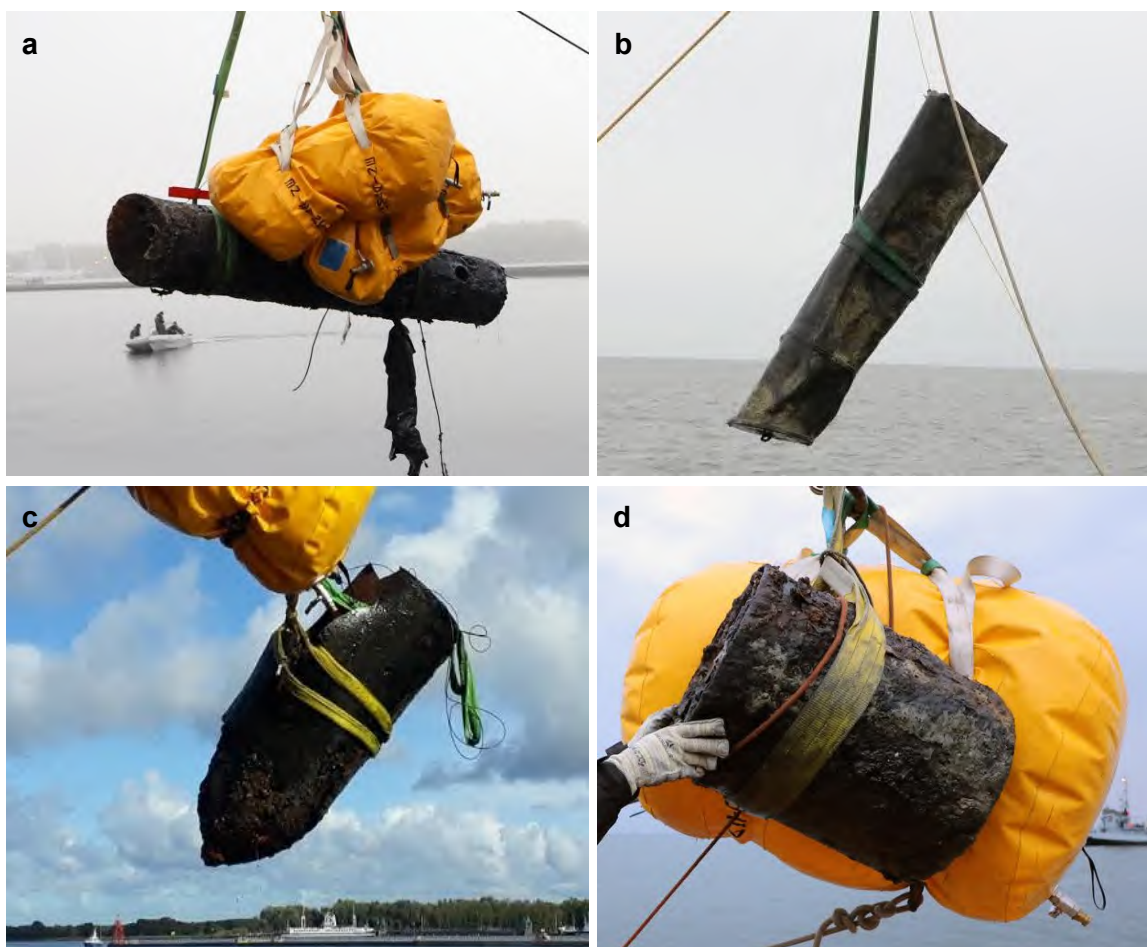
Zaprezentowane powyżej dane pozwalają wyrobić ogólny pogląd na temat charakteru zagrożenia minowego występującego na akwenach Zatoki Gdańskiej, które wciąż pozostaje aktualne (Miętkiewicz, 2015).

Marynarka Wojenna RP prowadzi bieżące operacje neutralizacji odnajdywanych obiektów. W latach 2019–2020 zneutralizowano szereg niebezpiecznych przedmiotów. Daty operacji oraz typy niebezpiecznego obiektu przedstawiono w tabeli (Tabela 23).

Tabela 23. *Obiekty zneutralizowane w polskich obszarach morskich (2019–2020) (źródło: opracowanie własne na podstawie danych publicznych)*

Data	Zneutralizowane obiekty
16.06.2020	1 × mina brytyjska Mark VI 1 × niemiecka bomba głębinowa WBD
13.05.2020	3 × niemieckie bomby głębinowe 1 × brytyjska bomba fosforowa 1 × US AN-M64 bomba lotnicza
15.04.2020	1 × niemiecka mina denną GC 1 × 500-funtowa brytyjska bomba lotnicza
02.04.2020	3 × brytyjskie bomby fosforowe
25.11.2019	1 × brytyjska mina denną Mark VI
02.10.2019	1 × bomba lotnicza USA AN-M65
01.10.2019	1 × mina denną Mark IV 1 × brytyjska bomba głębinowa Mk-XII
12.08.2019	1 × brytyjska mina denną Mark VI 1 × niemiecka bomba głębinowa DM
14.07.2019	1 × mina denną Mark IV
10.2023	1 x bomba lotnicza AN-M59
2024	24 x pociski artyleryjskie kalibru 210 mm
2025	100 x pociski artyleryjskich oraz bomba lotnicza

Środki bojowe zneutralizowane przez jednostki Marynarki Wojennej w polskich obszarach morskich zaprezentowano na rysunku (Rysunek 13). Uwagę zwraca stan obiektów, poziom ich korozji, przy czym pamiętać należy, iż zależy on od konkretnego miejsca zalegania, a przy długotrwałym przebywaniu w środowisku odciętym od tlenu amunicja pozostaje w bardzo dobrym stanie wizualnym.



Rysunek 13. Wybrane obiekty niebezpieczne zneutralizowane w rejonie Świnoujścia: a) mina brytyjska Mark VI; b) mina brytyjska Mark IV; c) US AN-M65 amerykańska bomba lotnicza; d) niemiecka bomba głębinowa (źródło: materiały własne autora)

1.1.2.7 Podsumowanie

Badania historyczne nad amunicją konwencjonalną zatopioną w Głębi Gdańskiej okazują się niezwykle trudne. Spowodowane jest to przede wszystkim brakiem dostępnych źródeł wiedzy umożliwiających doprecyzowanie danych na temat ilości, rodzajów, typów i stanu konwencjonalnych środków bojowych zatopionych po II wojnie światowej. Problem ten nie dotyczy wyłącznie polskich obszarów morskich, a jest także sygnalizowany przez pozostałe państwa bałtyckie.

Przeprowadzenie pełnej, wyczerpującej kwerendy historycznej jest niemożliwe z powodu: braku części dokumentacji archiwalnej (zgodnie z informacjami pracowników Archiwum Marynarki Wojennej część dokumentów krajowych została zniszczona) oraz ograniczonych możliwości uzyskania dostępu do materiałów zagranicznych, w szczególności do archiwów rosyjskich, co jest konsekwencją złożonej sytuacji międzynarodowej oraz podwyższonego poziomu napięć geopolitycznych, skutkujących negatywnymi rekomendacjami właściwych służb w zakresie podejmowania starań o udostępnienie tych zasobów.

W toku kwerendy wykorzystano dostępne materiały niemieckie, zarówno bezpośrednio pozyskane z archiwów, jak i pośrednie, stanowiące podstawę badań prowadzonych przez stronę niemiecką

(artykuły i opracowania naukowe). Dodatkowo uwzględniono wyniki wcześniejszych projektów badawczych poświęconych problematyce amunicji zatopionej w Morzu Bałtyckim.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, przy uwzględnieniu porównań z wynikami badań strony niemieckiej, można sformułować hipotezę, że na obszarze Głębi Gdańskiej zatapiano zasadniczo środki bojowe z tych samych kategorii, z których składowano środki w portach niemieckich zlokalizowanych w strefach okupacyjnych pozostałych państw alianckich po II wojnie światowej. Prawdopodobny asortyment obejmuje w szczególności:

- amunicję artyleryjską różnych kalibrów i typów;
- uzbrojenie morskie, w tym amunicję morską, torpedy (lub ich głowice bojowe), miny morskie (kotwiczne i denne) oraz bomby głębinowe;
- amunicję strzelecką i karabinową, w tym granaty różnego typu;
- miny lądowe (przeciwpiechotne i przeciwpancerne);
- pociski rakietowe oraz ich elementy konstrukcyjne.

Transportowana na miejsce zatopienia amunicja mogła znajdować się w zróżnicowanym stanie technicznym oraz w różnych rodzajach opakowań (skrzynie, pojemniki, magazynki), jak również być przewożona luzem.

Istnieje niewielkie prawdopodobieństwo występowania w rejonie Głębi Gdańskiej uzbrojenia pochodzenia brytyjskiego, przede wszystkim min morskich – głównie niekontaktowych zrzuconych z powietrza – stanowiących pozostałość po działaniach minowych prowadzonych w trakcie II wojny światowej.

Analiza dostępnych materiałów dotyczących zasad i procedur postępowania z uzbrojeniem lotniczym (w szczególności bombami lotniczymi) po nieudanych atakach (np. z powodu braku widoczności celu) wskazuje na pewne prawdopodobieństwo występowania na dnie akwenu bomb lotniczych zrzuconych w drodze powrotnej samolotów do baz macierzystych.

Przeprowadzone analizy wybranych wraków jednostek pływających zlokalizowanych w rejonie badań nie wykazały obecnie istotnego zagrożenia wynikającego z potencjalnej obecności na ich pokładach amunicji i środków bojowych. Uwzględniając jednak intensywność działań bojowych w końcowym okresie II wojny światowej, należy liczyć się z prawdopodobieństwem zalegania na dnie wraków samolotów oraz elementów ich uzbrojenia (bomb lotniczych, niekierowanych pocisków rakietowych). Wskazują na to m.in. raporty dotyczące zestrzeleń samolotów radzieckich w trakcie starć powietrznomorskich pomiędzy intensywnie operującymi siłami Kriegsmarine a radzieckim lotnictwem morskim.

Można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że dane dotyczące zatapiania amunicji przechwyconej i dysponowanej przez stronę radziecką pozostają utajnione w rosyjskich archiwach wojskowych i pozostają aktualnie poza zasięgiem badań.

Poniżej przedstawiono podsumowanie najbardziej prawdopodobnych rodzajów amunicji konwencjonalnej zatapianych w lokalizacji Głębia Gdańska (Tabela 24).

Tabela 24. Rodzaje amunicji konwencjonalnej wykryte w lokalizacji Głębia Gdańska (źródło: opracowanie własne)

Lp.	Rodzaj amunicji	Masa [kg]	Masa MW [kg] rodzaj MW	Równoważnik trotylowy [kg]	Wymiary: długość [cm] średnica [mm]	Stan techniczny	Kraj pochodzenia	Rok zatopienia
Uzbrojenie morskie (okrętowe)								
Miny morskie								
1.	Mina denną A (Airborne) Mk I–IV niekontaktowa	680	340 amatol minol	340	292 ÷ 305 cm 457 mm	cała	Wielka Brytania	1940 1944
2.	Mina denną A Mk VI niekontaktowa	907	454 amatol 499 minol	454 499	- 450 mm		Wielka Brytania	
3.	Mina denną niekontaktowa LM (Luftmine)	987	697 heksanit	690	264 cm 660 mm		Niemcy	
4.	Mina kotwiczna EM (Eincheistmine) kontaktowa lub niekontaktowa (EMC, EMD – mina typu GX)	352	150 heksanit	150	- 1020 mm		Niemcy	
5.	Mina kotwiczna UM (Ubootsmine) (UMB – mina typu GR)	190	41 heksanit	41	- 851 mm		Niemcy	
6.	Mina lotnicza TM (Torpedomine) kotwiczna kontaktowa denną niekontaktowa (TMA – mina typu GT)	396	215 heksanit	215	283,2 cm 533 mm		Niemcy	
7.	Mina denną Mina typu MMD-2	640	400 trotyl	400	181,5 cm 530 mm	rozcalona, rozbity korpus		

Lp.	Rodzaj amunicji	Masa [kg]	Masa MW [kg] rodzaj MW	Równoważnik trotylowy [kg]	Wymiary: długość [cm] średnica [mm]	Stan techniczny	Kraj pochodzenia	Rok zatopienia
Torpedy								
1.	Torpeda G7a parogazowa	1538	280 Schießwolle 36	320	700 cm 533 mm		Niemcy	1940
2.	Torpeda F5b parogazowa	760	200	200	515–538 cm 450 mm		Niemcy	
Bomby głębinowe								
1.	Bomba głębinowa DM	-	100	100	-		Niemcy	
2.	Bomba głębinowa WBD	-	100	100	-		Niemcy	
3.	Bomba głębinowa Mk-XII	-	100	100	-		Wielka Brytania	
Uzbrojenie lotnicze								
Bomby								
1.	Bomba lotnicza AN-M64	242	124	124	144 cm 361 mm		USA	
2.	Bomba lotnicza AN-M65	471	270	270	170 cm 478 mm		USA	

1.1.3 Ocena stanu technicznego amunicji

Zatopione w Morzu Bałtyckim bojowe środki trujące umieszczone były w różnych rodzajach amunicji, przeważnie w bombach i pociskach artyleryjskich, ale także luzem, w pojemnikach takich jak beczki, kontenery czy bębny. Każde z nich posiada inną odporność korozyjną, dlatego szybkość ich roztwarzania oraz początek uwalniania BST do środowiska dla każdego z „opakowań” jest inny, także w przypadku amunicji (cienkościenne bomby lotnicze i grubościenne pociski artyleryjskie). Czas ten zależy od rodzaju i jakości użytego materiału do produkcji amunicji lub pojemnika, od zawartości, czyli rodzaju BST umieszczonego w amunicji czy pojemniku oraz od lokalnych warunków środowiskowych, w którym się ona znajduje. Duża zawartość tlenu, wysokie zasolenie wody, omywające amunicję prądy morskie będą przyspieszały korozję, natomiast pokrycie amunicji warstwą osadu, niska zawartość tlenu korozję tę znacznie opóźnią. Biorąc powyższe pod uwagę, spodziewać się należy, że amunicja leżąca na twardym dnie szybciej ulegnie skorodowaniu niż ta pokryta osadem dennym.

Do budowy broni chemicznej najczęściej wykorzystywano pociski artyleryjskie o kalibrze 105 i 149,1 mm, których grubość korpusów dochodziła do 30 mm. Bomby lotnicze miały średnicę od 20 do 48 cm i długość od 109 do 181 cm, natomiast grubości ich korpusów wynosiły zaledwie od 1,5 do 3 mm. Najmniejsze zawierały od 13 do 15 kg bojowego środka chemicznego, a największe zaś do 200 kg (Fabisiak, 2019).

Uwzględniając fakt, że w większości przypadków (choć nie zawsze) przed zatopieniem wykręcano z amunicji chemicznej zapalniki (Witkiewicz, 1998), zagrożenie wynikające z nagłego wybuchu amunicji jest niewielkie. Nawet w przypadkach, gdy zapalniki nie zostały usunięte, materiał wybuchowy zapalnika do dnia dzisiejszego uległ utlenieniu, więc ryzyko eksplozji jest mało prawdopodobne. Obecnie broń chemiczna stwarza zagrożenie tylko wówczas, gdy bojowy środek trujący zawarty w jej wnętrzu wydostanie się na zewnątrz, na przykład na skutek rozszczelnienia się amunicji lub pojemników z BST w wyniku korozji.

Obecny stan zatopionej broni zależy od:

- początkowej grubości skorupy pocisków, bomb, innych rodzajów amunicji oraz opakowań (np. beczek, kontenerów);
- materiału, z którego został wykonany korpus pocisku lub opakowanie;
- sposobu zabezpieczenia amunicji (np. środki antykorozyjne);
- sposobu zatapiania amunicji (w kadłubie statku, w betonowych blokach, skrzyniach, luzem);
- rodzaju dna na obszarze zatapiania. Czy zalega na twardym dnie (amunicja jest wówczas wystawiona na oddziaływanie wody), czy też znajduje się w mule (amunicja jest odcięta od dopływu tlenu i od mechanicznego oddziaływania prądów morskich);
- rodzaju bojowego środka trującego lub materiału wybuchowego wypełniającego amunicję lub opakowanie;
- czynników środowiskowych, z których najistotniejszymi są: ciśnienie hydrostatyczne, temperatura, pH, skład jonowy wody, obecność i rodzaj mikroorganizmów.

Parametry powyższe wpływają na szybkość korozji, która przyczynia się do rozszczelnienia amunicji, uwolnienia BST/MW do środowiska, a w konsekwencji do jego skażenia. Metalowe korpusy amunicji chemicznej zatopionej w morzu w największym stopniu podlegają procesom korozji elektrochemicznej uwarunkowanej obecnością w wodzie morskiej tlenu. Sam proces może zachodzić jako korozja ogólna, równomiernie na całej powierzchni, oraz jako korozja lokalna, która może mieć znamiona korozji punktowej, wżerowej i kontaktowej.

Korozja punktowa uwarunkowana jest niejednorodną budową struktury krystalicznej metalu domieszkowanego różnymi pierwiastkami, w której mogą być zamknięte gazy, i na którą oddziałują zmiany ciśnienia, mikroorganizmy, sedimentacja i cząstki osadów.

Korozja wżerowa występuje wówczas, gdy na powierzchni skorupy amunicji pojawiają się drobne uszkodzenia, na których tworzą się miniaturowe ogniwa galwaniczne w efekcie oddziaływania jonów chlorkowych z obnażonym metalem, wpływem mikroorganizmów i osadzania się piasku. Także zawartość węgla w stali niskostopowej sprzyja powstawaniu rys, co w końcu prowadzi do korozji.

Korozja kontaktowa zachodzi w wyniku różnic potencjałów metali wchodzących w skład korpusów. Jest ona szczególnie widoczna tam, gdzie stal styka się z elementami wykonanymi z miedzi lub ołowiu. Udział poszczególnych typów korozji w niszczeniu korpusów amunicji, wyznaczony doświadczalnie przedstawiono w tabeli (Tabela 25).

Tabela 25. Wpływ różnych procesów korozyjnych na stan techniczny zatopionej amunicji (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

Typ korozji	Szybkość korozji [mm/rok]
Ogólna	0,050–0,130
Punktowa	0,132–0,355
Wżerowa	0,170–0,460
Kontaktowa:	
• pocisk–pocisk	0,132–0,345
• pocisk–powierzchnia	0,220–0,575
• stal–ołów	0,057–0,149

Oprócz korozji zewnętrznej amunicja chemiczna podlega także wewnętrznym procesom korozyjnym wywołanym obecnością w niej substancji chemicznej. W przypadku iperytu siarkowego korozja intensyfikowana jest kwasem solnym, będącym technologiczną domieszką technicznego produktu (takim w większości elaborowano amunicję) oraz kwasu powstającego w wyniku rozpadu iperytu.

Biorąc pod uwagę fakt, że szybkość korozji będzie decydować o uwolnieniu BST do środowiska (pomijając mechaniczne uszkodzenia), to czas uwolnienia BST będzie uwarunkowany grubością amunicji i pojemników. Cienkościenne skorupy bomb i innej amunicji, jeśli leżały na twardym dnie i były wystawione na oddziaływanie wody, są przerdzewiałe, rozszczelnione i mogą już nie zawierać środków bojowych.

Ogólna korozja metalowych korpusów amunicji i ścianek pojemników w środowisku morskim postępuje z szybkością około 0,050–0,130 mm na rok (Tabela 25). Korozja kontaktowa, miejscowa może być znacznie szybsza. Ocenia się, że obecnie grubość korpusów amunicji i ścianek pojemników zmniejszyła się o 3,5–9 mm w stosunku do pierwotnej (Makles i Śliwakowski, 1997). Badania prowadzone w latach

90. ubiegłego wieku wykazały, że w większości przypadków zatopiona amunicja skorodowana jest w 70–80% (Surikov, 1996). Dzisiaj, po kolejnych 20 latach, można przypuszczać, że ta, która znajduje się w warunkach środowiskowych sprzyjających korozji, skorodowana jest już w ponad 90%. Ze względu jednak na dużą liczbę parametrów teoretyczne rozważania czy jakichkolwiek kalkulacje nie mają zastosowania do określania stanu amunicji znajdującej się w poszczególnych obszarach zatopień. Prace realizowane w obrębie dna morskiego wykazują, że znajdowana jest zarówno zupełnie nienaruszona amunicja chemiczna, jak i całkowicie skorodowane pociski, w których nie ma już bojowych środków chemicznych. Liczne operacje rozminowywania, podczas których była wydobywana amunicja konwencjonalna, przeprowadzone zwłaszcza w przybrzeżnych miejscach zatopień, jak również wyłowione przez rybaków używających sieci dennych bomby i pociski, wykazały, że stan amunicji przedstawia się następująco:

- amunicja artyleryjska o grubej skorupie (tj. powyżej 10 mm w zależności od kalibru), leżąca na piasku lub na żwirze, przetrwała zaledwie na parę milimetrów; zapalniki z aluminium lub jej stopów zostały całkowicie utlenione;
- zapalniki małokalibrowej amunicji (20 mm), które były wystawione na bezpośrednie oddziaływanie wody, lub których opakowanie zostało już zniszczone, są prawie całkowicie przetrwane; ich ładunki wybuchowe i zasadnicza zawartość są pozbawione osłony;
- pociski znajdujące się w pojemnikach są nadal w nienaruszonym stanie; również te zagrzebane w mule wciąż są w dobrym stanie i w wielu przypadkach nadają się do użycia.

W tabeli (Tabela 26) przedstawiono czasy uwalniania iperytu z zatopionej broni chemicznej w zależności od rodzaju amunicji i opakowania.

Tabela 26. Szacunkowy czas uwalniania iperytu z amunicji chemicznej od momentu jej zatopienia (źródło: Makles i Śliwakowski, 1997)

Rodzaj amunicji	Początek uwalniania [lata]	Okres uwalniania [lata]
Puszki	8	30
Granaty	12	45
Bębny	15	54
Beczki	23	80
Bomby	46	160
Pociski artyleryjskie:		
75 mm	69	240
105 mm	82	313
149,1 mm	100	390

Oszacowano, że pełne rozszczelnienie zatopionej broni chemicznej nastąpi: w przypadku beczek po 60 latach (obecnie większość jest już nieszczelna), bomb po 120 latach, pocisków 75, 105 i 149,1 mm odpowiednio po 180, 215 i 265 latach¹¹. Dotychczas wyławiana amunicja chemiczna wykazywała bardzo zróżnicowany stopień skorodowania, poczynając od stanu nienaruszonego do całkowitej korozji.

¹¹Z. Makles i M Śliwakowski, op. cit., s. 22.

W ramach realizowanego projektu badawczego DAIMON przeprowadzono eksperymenty, zarówno *in situ* i *ex situ*, mające na celu oszacowanie szybkości korozji amunicji chemicznej zatopionej w Bałtyku. Badania prowadzone były na różnych materiałach, o składzie zbliżonym do tych, z których wykonano korpusy pocisków, a także na próbkach oryginalnych materiałów. Mikroskopowe badania typu korozji wykazały, że z wyjątkiem kuponów¹² wykonanych z beczki obserwuje się korozję ogólną o charakterze równomiernym. W przypadku beczki jest to korozja ogólna o charakterze nierównomiernym. Korozja, jak się spodziewano, szybciej zachodzi w wodzie, a jej prędkość maleje wraz z grubością osadu pokrywającego obiekt. Przeprowadzone badania *in situ* wykazują, że szybkość korozji w wodzie jest większa w rejonie Głębi Gotlandzkiej niż w Głębi Gdańskiej. Wyniki badań wskazują na to, że w przypadku, gdy broń chemiczna zalega na dnie i nie jest pokryta osadem, szybkość korozji wynosi od 0,027 do 0,043 mm/rok w zależności od rodzaju materiału, z którego została wykonana. W przypadku pokrycia jej warstwą osadu o grubości do 5 cm prędkość korozji wynosi od 0,019 do 0,035 mm/rok, a w przypadku pokrycia amunicji 20 cm warstwą wynosi ona od 0,012 do 0,016 mm/rok. Zakładając, że broń chemiczna przebywa na dnie 70 lat (ostatnie zatapianie w badanych rejonach nastąpiły w 1947 r.), poszycie badanych obiektów zmniejszyło się dla:

- beczek o 2,3–3,0 mm (niepokryte osadem); 1,1–1,9 mm (pokryte osadem) – beczki są całkowicie skorodowane i rozszczelnione, a zawarty w nich środek bojowy został uwolniony do środowiska;
- bomb lotniczych o 1,3–7,5 mm (niepokryte osadem); 0,1 do 6 mm (pokryte osadem) – bomby lotnicze w większości są całkowicie skorodowane, a zawarty w nich BST został uwolniony do środowiska; należy jednak spodziewać się, że bomby znajdujące się głęboko w osadzie mogą być jeszcze w dobrym stanie technicznym z BST w ich wnętrzu;
- pocisków artyleryjskich o 2,0–5,8 mm (niepokryte osadem); 1,1–1,3 mm (pokryte osadem) – pociski artyleryjskie mogą być jeszcze w dobrym stanie (szczelne), szczególnie te pokryte osadem.

Jak wynika z powyższego, istotnym parametrem mającym wpływ na szybkość korozji ma natlenienie środowiska. Osady bardzo skutecznie odcinają tlen, co wyraźnie można zauważyć podczas analizy otrzymanych wyników badań. Jednak należy pamiętać, że nawet w środowisku beztlenowym korozja przebiega pod wpływem tworzącego się przy dnie siarkowodoru (redukcja siarczanów) przy udziale beztlenowych bakterii siarkowych i żelazowych.

Prowadzone w ramach projektu DAIMON badania mające na celu ocenę wpływu aktywności biologicznej bakterii dennych na szybkość korozji wykazały wysoką aktywność szczególnie beztlenowych bakterii siarkowych. Ich ilość okazała się wysoka, zwłaszcza gdy oznaczenia wykonywano z użyciem pożywki przygotowanej na bazie wody morskiej. Oznacza to, że większość tych bakterii jest przystosowana do życia w środowisku zasolonym, w którym zdolne one są do inicjowania wielu procesów, w tym także korozji. Główny mechanizm biologicznych procesów korozyjnych polega na utlenianiu substancji organicznych znajdujących się w osadach dennych z równoczesną redukcją siarczanów do siarkowodoru, który jest silnym reduktorem i środkiem przyspieszającym korozję.

¹²Fragmety metalu, z którego został wykonany badany obiekt.

Nie potwierdzono istotnych ilości bakterii żelazowych, ze względu prawdopodobnie na zbyt małe ilości tlenu na obszarze pobierania próbek. Wykazane zmiany są na tyle mało istotne, że potwierdza się tezę, iż główny udział w procesach korozyjnych – w warunkach beztlenowych – mają beztlenowe bakterie siarkowe.

1.2 Wpływ na środowisko

1.2.1 Uwarunkowania przyrodnicze Zatoki i Głębi Gdańskiej

Zatoka Gdańska jest południowo-wschodnią częścią Morze Bałtyckiego, stanowiącą fragment Basenu Gdańskiego. Jej funkcjonowanie determinowane jest przez dopływ wód rzecznych – przede wszystkim Wisłę – oraz przez wymianę mas wodnych z Bałtykiem otwartym (Kot-Wasik i in., 2003). Akwen ten wyróżnia się wyraźną stratyfikacją termohalinową, dużą zmiennością sezonową oraz silną presją antropogeniczną. Zatoka Gdańska obejmuje kilka jednostek morfologicznych: Zalew Wiślany, Zatokę Pucką, ujściowy odcinek Wisły oraz otwartą część basenu przechodzącą w Głębię Gdańską (Kot-Wasik i in., 2003). Jest to stosunkowo płytki akwen oddzielony od Bałtyku otwartego Półwyspem Helskim, co ogranicza bezpośrednią wymianę wód. Wymiana wód między Zatoką a Bałtykiem jest procesem dynamicznym i zależnym zarówno od czynników gęstościowych (różnic zasolenia), jak i od warunków meteorologicznych. Średni czas retencji wód w Zatoce oszacowano na około 80 dni (Witek i in., 2000, za: Jankowski, 2003). Modelowe badania cyrkulacji wykazały, że odnowa zasolonych wód przydennych jest efektem współdziałania przepływu termohalinowego i oddziaływania wiatru (Jankowski, 2003). Zidentyfikowano dwa główne źródła dopływu wód zasolonych do Głębi Gdańskiej: bezpośredni dopływ z rejonu Rynny Słupskiej wzdłuż Półwyspu Helskiego, napływ „starych”, zalegających wód z głębszej części Basenu Gdańskiego (Jankowski, 2003). Kierunki wiatrów z sektora południowo-wschodniego sprzyjają zwiększeniu zasolenia w Zatoce, podczas gdy wiatry zachodnie i północno-zachodnie powodują jego spadek (Jankowski, 2003).

Zatoka Gdańska jest silnie uzależniona od dopływu wód rzecznych. Wisła odpowiada za ponad 90% ładunku zanieczyszczeń wprowadzanych do akwenu (Kot-Wasik i in., 2003). Wraz z wodami rzeczными dostarczane są znaczne ilości azotu i fosforu, co w ostatnich dekadach doprowadziło do intensyfikacji eutrofizacji. W Głębi Gdańskiej obserwuje się wyraźne zmiany sezonowe stężeń azotanów i fosforanów w warstwie 0–24 m (Kot-Wasik i in., 2003). W późnych latach 80. XX wieku stwierdzono również obecność siarkowodoru w wodach przydennych, co wskazywało na okresowe deficyty tlenowe (Kot-Wasik i in., 2003). Mimo że osady dennie mogą uwalniać fosfor i azot w warunkach anoksycznych, ich udział w całkowitym bilansie biogenów jest niewielki w porównaniu z dopływem rzeczny. Szacuje się, że w latach 1993–2002 sedymenty Głębi Gdańskiej dostarczyły jedynie około 1,5% zapotrzebowania na fosfor i 0,9% zapotrzebowania na azot w analizowanym obszarze (Graca i in., 2006).

Głębia Gdańska stanowi najgłębszą część analizowanego obszaru (ponad 100 m). Występuje tu trwała warstwowość wód, z chłodną warstwą pośrednią oraz stabilną warstwą przydenną o wyższym zasoleniu (ok. 12 PSU) i temperaturze około 5,5°C (Burska i in., 1997). Głębia Gdańska pełni funkcję głównego obszaru akumulacji materii zawieszanej i związków organicznych w tej części Bałtyku (Lubecki i in., 2010). Dno pokrywają osady ilaste i mułowe o wysokiej zawartości wody oraz materii organicznej. Zawartość węgla organicznego i azotu w osadach poniżej 30 m głębokości jest kilkakrotnie wyższa niż w strefie płytkowodnej. W zakresie związków fosforu stwierdzono znaczne zróżnicowanie przestrzenne – mediany całkowitego fosforu w osadach Głębi były około trzykrotnie wyższe niż w strefie przybrzeżnej

(Łukawska-Matuszewska i Bolałek, 2008). Osady Głębi Gdańskiej charakteryzują się wysokimi stężeniami wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Średnie stężenia sumy 12 WWA w warstwie 0–10 cm przekraczają 3500 ng g^{-1} , co klasyfikuje je jako osady silnie zanieczyszczone (Lubecki i in., 2010). Wraz ze wzrostem głębokości zwiększa się udział związków o wysokiej masie cząsteczkowej, co wiązane jest z transportem cząstek sadzy oraz procesami selektywnej degradacji (Lubecki i in., 2009). W Zatoce notuje się również podwyższone stężenia metali ciężkich i trwałych zanieczyszczeń organicznych, co potwierdza silną antropopresję w regionie (Kot-Wasik i in., 2003).

Zatoka Gdańska stanowi system o wysokiej wrażliwości ekologicznej, w którym nakładają się procesy naturalne (stratyfikacja, sedymentacja, cyrkulacja wymuszona wiatrem) oraz presja antropogeniczna (dopływ biogenów i zanieczyszczeń). Głębia Gdańska odgrywa kluczową rolę jako obszar akumulacji materii i miejsce okresowych deficytów tlenowych, wpływających na obieg pierwiastków i funkcjonowanie ekosystemu (Graca i in., 2006; Jankowski, 2008; Łukawska-Matuszewska i Bolałek, 2008).

1.2.2 Zachowanie się BST i MW w wodzie morskiej

W niniejszym podrozdziale przedstawiono wpływ specyficznych warunków hydrograficznych i biogeochemicznych Bałtyku, takich jak stała stratyfikacja wód, powszechne warunki beztlenowe w głębiach oraz nieregularne wlewy wód z Morza Północnego, na procesy korozyjne, mechanizmy uwalniania substancji niebezpiecznych (BST i MW) oraz ich dalsze losy w ekosystemie Bałtyku. Przedstawiane poniżej dane oparte są na najważniejszych międzynarodowych projektach badawczych, takich jak CHEMSEA i DAIMON oraz na inicjatywach podejmowanych w ramach Komisji Helsińskiej (HELCOM), które w znaczący sposób przyczyniły się do poszerzenia wiedzy i opracowania narzędzi do oceny ryzyka i zarządzania zagrożeniami związanymi z zatopioną w Morzu Bałtyckim bronią chemiczną i konwencjonalną.

Spośród zatopionych w Bałtyku bojowych środków trujących iperyt siarkowy (gaz musztardowy) stanowi około 80% wszystkich zatopionych BST (Czub, 2020). Należy on do grupy parzących substancji niebezpiecznych. Jest to oleista, gęsta ciecz o bardzo małej rozpuszczalności w wodzie, zwłaszcza w niskich temperaturach, które panują w głębinach Bałtyku (Czub, 2020). Z grupy parzących BST w Bałtyku zatopiono ponadto: iperyt azotowy oraz luizyt, które stanowią niewielki odsetek masowy w porównaniu do iperytu siarkowego.

Drugą niezwykle istotną grupą zatopionych BST są związki arsenoorganiczne, takie jak: Clark I (difenylochloroarsyna), Clark II (difenylocyjanoarsyna) oraz adamsyt (HELCOM, 2013; DAIMON, 2019). Związki te były często składnikiem tzw. oleju arsenowego, stosowanego m.in. jako dodatek do iperytu siarkowego w celu zapobiegania jego zamarzaniu w niskich temperaturach (ibidem).

Kolejną grupą BST, które zatopiono w Bałtyku, są ogólnotrujące i duszące BST, takie jak cyjanowodór, chlorocyjan, fosgen oraz difosgen. Środki te po kontakcie z wodą ulegają prawie natychmiastowej hydrolizie, nawet w niskich temperaturach, przez co nie stanowią istotnego zagrożenia środowiskowego związków chemicznych.

Wśród zatopionych w Bałtyku BST znajduje się wyjątkowo toksyczny paralityczno-drgawkowy tabun. Jego toksyczność wielokrotnie przewyższa toksyczność wyżej wymienionych BST. Broń

chemiczną wypełnioną tym rodzajem BST zatapiano głównie w rejonie Małego Bełtu, czyli poza rejonem zainteresowania projektu. Stąd ryzyko obecności tego BST w rejonie Głębi Gdańskiej jest stosunkowo niewielkie.

Oprócz amunicji chemicznej w tych samych lub pobliskich akwenach zatopiono także ogromne ilości amunicji konwencjonalnej, zawierającej materiały wybuchowe, takie jak: trotyl (TNT), heksogen (RDX) i oktogen (HMX) (DAIMON, 2019), które także stanowią poważne zagrożenie środowiska morskiego, które wynika z ich właściwości wybuchowych oraz toksycznych.

Zachowanie BST i MW w środowisku Morza Bałtyckiego

Losy zatopionej amunicji oraz tempo i skala uwalniania z niej niebezpiecznych substancji są nierozdzielnie związane z unikalnym i złożonym środowiskiem Morza Bałtyckiego. Jego specyficzne cechy hydrograficzne i biogeochemiczne, w dużej mierze determinowane przez półzamknięty charakter i ograniczoną wymianę wód z oceanem, tworzą warunki, które w decydujący sposób wpływają na procesy korozyjne oraz transport substancji niebezpiecznych uwolnionych z zatopionej amunicji i pojemników wypełnionych BST (Czub i in., 2018).

Głównym mechanizmem uwalniania niebezpiecznych substancji z zatopionej amunicji jest korozja metalowych korpusów bomb, pocisków i pojemników (DAIMON, 2019; Scharsack i in., 2021). Tempo tego procesu zależy od typu amunicji, w tym grubości korpusu i rodzaju metalu, z którego został on wykonany, a także od warunków środowiskowych. Głębia Gdańska to obszar, w którym niemal permanentnie panują warunki beztlenowe, co zdecydowanie spowalnia procesy korozyjne amunicji, powodując, że BST i MW w niej zawarte uwalniane są zdecydowanie później, niż ma to miejsce w akwenach dobrze natlenionych. Szacuje się, że w tych warunkach, po około 80 latach od zatopienia, większość amunicji o cieńszych ściankach już skorodowała lub jest w stanie zaawansowanej degradacji. Efektem tego jest powolne, ale stałe uwalnianie zawartości do środowiska (Bełdowski i in., 2014).

Po uwolnieniu BST i MW do środowiska losy tych substancji są zróżnicowane ze względu na ich różne właściwości fizyczno-chemiczne. Substancje takie jak iperyt siarkowy ze względu na niską rozpuszczalność tworzą trwałe konglomeraty (bryły) na dnie, ulegając bardzo powolnej hydrolizie (Czub, 2020). Związki arsenoorganiczne wykazują tendencję do akumulacji w osadach dennych (Czub, 2020; Fauser i in., 2013). Badania prowadzone w ramach projektów CHEMSEA i DAIMON wielokrotnie potwierdziły obecność BST i ich produktów rozkładu w osadach i wodzie porowej (wodzie wypełniającej przestrzeń między cząstkami osadu) w bezpośrednim sąsiedztwie skorodowanej amunicji (Czub i in., 2018; Fauser i in., 2013). Bardzo istotny ze względu na rozprzestrzenianie się substancji niebezpiecznych w ekosystemie morskim jest fakt, że w żadnym z dotychczasowych badań nie wykryto mierzalnych stężeń BST/MW w samej toni wodnej, co sugeruje, że zanieczyszczenia mają charakter głównie lokalny i są skoncentrowane przy dnie, głównie w osadach (HELCOM, 2013; DAIMON, 2019).

Iperyty

Zachowanie iperytu siarkowego w środowisku morskim jest bezpośrednią konsekwencją jego unikalnych właściwości fizykochemicznych. Jego niska rozpuszczalność w wodzie (ok. 0,8 g/dm³ w temperaturze 20°C) jest fundamentalną cechą ograniczającą jego dyspersję w słupie wody (Missiaen i in., 2010). W praktyce oznacza to, że iperyt uwolniony nawet w dużych ilościach prawie nie rozpuszcza się, lecz tworzy odrębną fazę ciekłą, a najczęściej stałą na dnie morskim. Jego gęstość, wyższa od

gęstości wody, powoduje, że po uwolnieniu gromadzi się na dnie. Stosunkowo wysoka temperatura topnienia, wynosząca 14,4°C oraz jego niska rozpuszczalność sprawiają, że w zimnych, głębokich wodach Bałtyku, gdzie temperatura rzadko przekracza 5–7°C, iperyt wykazuje tendencję do zastygania, przez co nie ulega rozcieńczeniu w wodzie morskiej. Zamiast tego tworzą się na dnie morskim lepkie, smoliste masy lub twarde, zastygłe grudki (HELCOM, 1994). Na powierzchni tych grudek dochodzi do powolnych reakcji z wodą morską, w tym hydrolizy i polimeryzacji, które prowadzą do powstania twardej, zewnętrznej skorupy chroniącej płynny, wysoce toksyczny iperyt wewnątrz brył (Hemström i in., 2020). Specyficzne warunki panujące w Morzu Bałtyckim, szczególnie w Głębi Gdańskiej – niska temperatura, niskie zasolenie i warunki beztlenowe – tworzą unikalne środowisko, które sprzyja trwałości iperytu siarkowego i jego mieszanin, znacząco spowalnia reakcje chemiczne, w tym kluczowej dla jego naturalnej degradacji hydrolizy (Missiaen i in., 2010).

Uwalnianie iperytu siarkowego do środowiska Bałtyku jest procesem długotrwałym, wywołanym powolną, lecz nieuniknioną korozją metalowych pojemników, bomb i pocisków artyleryjskich. Badania i modele prognostyczne wskazują, że cienkościenne obudowy bomb lotniczych oraz beczek prawdopodobnie uległy już całkowitemu rozpadowi lub nastąpi to w niedługim czasie. W zależności od warunków zalegania amunicji czas ten oszacowano na lata 2020–2030. Jednak pociski artyleryjskie, ze względu na grubsze korpusy, wciąż mogą zachować szczelność. Czas rozszczelnienia tego typu amunicji oszacowano nawet do 2100 r. (HELCOM, 2025). Oznacza to, że uwalnianie iperytu do środowiska morskiego nie jest jednorazowym zdarzeniem, lecz ciągłym, wieloletnim procesem.

Ostatecznym produktem hydrolizy iperytu siarkowego jest tiodiglikol (Bartlett i Swain, 1949; Hemström i in., 2020), który ulega powolnej biodegradacji w warunkach tlenowych (Medvedeva i in., 2009). W środowisku morskim może on ulegać także transformacjom w procesach utleniania, prowadząc do powstania sulfotlenku iperytu i sulfonu iperytu (Popiel i in., 2005). Jednak w Głębi Gdańskiej, gdzie panują najczęściej warunki hipoksyczne lub całkowicie anoksyczne, degradacja oksydacyjna iperytu jest praktycznie zatrzymana (Czub i in., 2018). W osadach dennych Morza Bałtyckiego, w rejonach składowisk, obok tiodiglikolu zidentyfikowano również inne, stabilne produkty degradacji, takie jak 1,4-ditian i 1,4-tioksan (Vanninen, 2020). Związki te można wykorzystać jako wskaźniki/detektory obecności amunicji chemicznej wypełnionej iperytem siarkowym w monitorowanych obszarach. Należy jednak pamiętać, że trwałość tych produktów w środowisku morskim jest zróżnicowana, pomimo iż uważa się je za stosunkowo stabilne, dlatego też niestwierdzenie ich obecności w osadach dennych nie jest dowodem na to, że w danym rejonie nie zatapiano broni chemicznej.

Arsenowe bojowe środki trujące

Arsenowe bojowe środki trujące stanowią zróżnicowaną grupę związków arsenoorganicznych. Ich cechą charakterystyczną jest obecność arsenu, pierwiastka trwałego, który nie ulega biodegradacji i może krążyć w środowisku przez dziesięciolecia, stanowiąc długoterminowe zagrożenie ekologiczne i zdrowotne (Czub, 2020). Badania naukowe prowadzone w ramach międzynarodowych projektów, takich jak CHEMSEA i DAIMON, jednoznacznie potwierdziły obecność arsenowych BST oraz ich produktów degradacji w osadach dennych w rejonach składowisk broni chemicznej (DAIMON, 2019; Niemikoski i in., 2020). Do najważniejszych arsenowych BST zatopionych w Morzu Bałtyckim należą: Clark I (difenylchloroarsyna), Clark II (difenylocyjanoarsyna), adamsyt (10-chloro-5,10-dihydrofenarsazyna) oraz luizyt (2-chlorowinylochloroarsyna), który zaliczany jest także do BST o działaniu parzącym, podobnie jak iperyt siarkowy.

Po uwolnieniu z korodującej amunicji arsenowe BST podlegają złożonym procesom transformacyjnym w środowisku morskim. Główne ścieżki transformacji obejmują hydrolizę, reakcje redoks oraz biodegradację z udziałem mikroorganizmów morskich.

Luzyt hydrolizuje stosunkowo szybko w środowisku morskim, a głównym produktem jego hydrolizy jest kwas 2-chlorowinyloarsonowy, który uznawany jest za dowód na zanieczyszczenie środowiska tym środkiem bojowym (IOM, 1993).

Clark I, Clark II i adamsyt charakteryzują się znacznie większą stabilnością w środowisku morskim i ulegają hydrolizie bardzo powolnie, ze względu na ich znikomą rozpuszczalność w wodzie. W warunkach redukcyjnych panujących w strefach beztlenowych (anoksji) przy dnie, czyli takich, jakie panują w Głębi Gdańskiej oraz w głębszych warstwach osadów, dominują związki As(III) (Fauser i in., 2013). Taka transformacja jest niezwykle niekorzystna dla środowiska, ponieważ As(III) jest uważany za bardziej toksyczny i bardziej mobilny w środowisku wodnym niż związki As(V). Dodatkowo w trakcie badań nad tą grupą BST stwierdzono, że zanieczyszczenie pochodzące z arsenowych BST wprowadza do środowiska zupełnie nową klasę związków organoarsenowych, które nie występują naturalnie w środowisku morskim. Są to przede wszystkim toksyczne związki fenyloarsenowe i winyloarsenowe (Niemikoski i in., 2020).

Materiały wybuchowe

Obok broni chemicznej, w Morzu Bałtyckim zatopiono setki tysięcy ton amunicji konwencjonalnej zawierającej materiały wybuchowe, takie jak: trotyl (TNT), heksogen (RDX) i oktogen (HMX). Ich uwolnienie do środowiska morskiego stwarza zagrożenie ekologiczne podobnie jak uwolnienie BST.

Trotyl (TNT) (2,4,6-trinitrotoluen) jest jednym z najczęściej spotykanych materiałów wybuchowych w amunicji zatopionej w Bałtyku. Jest związkiem o udowodnionych właściwościach toksycznych i rakotwórczych. Los TNT w ekosystemach morskich jest determinowany przez szereg procesów, w tym sorpcję na cząstkach stałych, biodegradację przez mikroorganizmy oraz transformacje abiotyczne, takie jak fotodegradacja. Biodegradacja jest głównym mechanizmem trwałego usuwania TNT ze środowiska morskiego. Zarówno biodegradacja, jak i mineralizacja TNT zachodzą w beztlenowych osadach morskich dzięki aktywności rodzimych zespołów mikroorganizmów. Niestety produkty pośrednie powstające podczas degradacji bardzo często są także toksyczne (mono-amino-dinitrotolueny, di-amino-nitrotolueny). Z tego powodu wydłuża się czas toksycznego oddziaływania TNT w środowisku, zwiększając czas występowania zagrożeń.

Heksogen (RDX) i oktogen (HMX)

Charakteryzują się one niską rozpuszczalnością w wodzie oraz niskim współczynnikiem sorpcji do gleby i osadów, przez co nie są silnie zatrzymywane przez większość osadów i mogą migrować w wodzie. W wodach powierzchniowych nie są one trwałe ze względu na fototransformację, która jest głównym abiotycznym mechanizmem jego degradacji. Najważniejszym jednak procesem prowadzącym do usunięcia ich ze środowiska morskiego jest biodegradacja, szczególnie w warunkach beztlenowych panujących w osadach dennych. Optymalnym scenariuszem jest całkowita mineralizacja, która w sprzyjających warunkach może prowadzić do powstania gazowego azotu (N₂), głównego produktu końcowego. Strefy hipoksji, czyli takie, które panują w Głębi Gdańskiej, sprzyjają degradacji tej grupy MW.

Los i oddziaływanie toksycznych substancji uwalnianych z zatopionej amunicji nie zależą wyłącznie od ich właściwości chemicznych i procesów biodegradacji. Ważną rolę odgrywają także procesy fizyczne, które decydują o transporcie tych związków w środowisku morskim.

Resuspensja osadów, czyli ponowne uwalnianie związków chemicznych do toni wodnej, jest krytycznym procesem, który prowadzi do remobilizacji zanieczyszczeń z dna morskiego do wody. Proces ten jest napędzany zarówno przez czynniki naturalne (prądy denne, falowanie, sztormy), jak i antropogeniczne. Działania takie jak trałowanie denne, prace czerpalne (pogłębianie torów wodnych), budowa infrastruktury podmorskiej (rurociągi, kable, farmy wiatrowe) oraz operacje związane z usuwaniem lub neutralizacją amunicji mogą prowadzić do intensywnej resuspensji osadów.

Szczególnie destrukcyjne jest trałowanie denne. Ciężkie włoki denne przeciągane po dnie morza mogą bezpośrednio naruszyć skorodowane korpusy amunicji lub odstąpić te, które były dotychczas pogrzebane w osadach. Taka interakcja stwarza podwójne ryzyko: po pierwsze, ryzyko mechanicznego uszkodzenia i detonacji amunicji, co stanowi śmiertelne zagrożenie dla załóg rybackich, a po drugie, przyspieszenie uwalniania toksycznych substancji do środowiska.

Prace czerpalne również niosą za sobą poważne ryzyko. Pogłębianie dna na obszarach, gdzie historycznie zatapiano amunicję, może prowadzić do przypadkowego wydobycia amunicji, w tym chemicznej. Kontakt z substancjami takimi jak iperyt siarkowy stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia i życia pracowników.

1.2.3 Skutki obecności BST i MW w morzu

Uwalniane do środowiska BST i MW wykazują szerokie spektrum działania toksycznego na faunę i florę Bałtyku oraz stanowią realne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Obecnie badania naukowe koncentrują się na ocenie toksyczności ostrej i subletalnej, procesach bioakumulacji oraz ścieżkach ekspozycji ludzi.

Badania laboratoryjne wykazały wysoką toksyczność iperytu dla organizmów testowych. Co istotne, wykazały one, że niektóre produkty degradacji iperytu w środowisku morskim są bardziej toksyczne niż związek macierzysty. Dane te klasyfikują iperyt siarkowy jako substancję bardzo toksyczną. Skutki subletalne iperytu wynikają z jego właściwości alkilujących i obejmują przede wszystkim uszkodzenia DNA (genotoksyczność), co może prowadzić do mutacji, nowotworów i zaburzeń reprodukcji (Czub i in., 2020).

Badania *in situ* nad wpływem związków arsenoorganicznych (Clark I) na organizmy bałtyckie wykazały znaczące odpowiedzi biomarkerów stresu oksydacyjnego, genotoksyczności i zaburzeń bioenergetycznych (Lastumäki i in., 2020). Ponadto badania wskazują, że produkty degradacji arsenowych BST dostają się do bałtyckiej sieci pokarmowej. Potwierdzono obecność utlenionych form Clark I i adamsytu w tkankach małży (*Mytilus trossulus*) (Lastumäki i in., 2020) oraz w tkankach dorsza z Głębi Bornholmskiej (Czub, 2020).

Trotyl jest związkiem o udowodnionych właściwościach toksycznych i rakotwórczych. Badania *in situ* na omułkach bałtyckich (*Mytilus* spp.) eksponowanych na TNT wykazały podwyższony stres oksydacyjny, obniżoną stabilność błon lizosomalnych oraz zmiany w formowaniu mikrojąder, co świadczy o genotoksyczności tego związku.

Badania naukowe potwierdzają, że związki pochodzące z amunicji są pobierane i akumulowane przez organizmy morskie. Analizy tkanek ryb dennych, takich jak zimnica (*Limanda limanda*), stornia (*Platichthys flesus*) i gładzica (*Pleuronectes platessa*), odłowionych w pobliżu miejsc składowania amunicji w zachodnim Bałtyku wykazały obecność metabolitów TNT, głównie w żółci i moczu (Kammann i in., 2025). Podobnie w tkankach omułków (*Mytilus edulis*) stwierdzono obecność podobnych metabolitów TNT (Appel i in., 2018).

Bioakumulacja, czyli proces gromadzenia się substancji chemicznych w tkankach organizmów w stężeniach wyższych niż w otaczającym środowisku, oraz biomagnifikacja, czyli wzrost stężenia substancji niebezpiecznych na kolejnych poziomach troficznych, są kluczowymi mechanizmami decydującymi o skali ekologicznego zagrożenia.

Obecność metabolitów TNT w rybach drapieżnych oraz produktów degradacji arsenowych BST w ich tkankach mięśniowych jest silnym dowodem na to, że biomagnifikacja ma miejsce. Proces ten prawdopodobnie zaczyna się od organizmów bentosowych, które pobierają substancje niebezpieczne bezpośrednio z zanieczyszczonych osadów lub wody porowej. Następnie te organizmy są zjadane przez ryby denne, które z kolei stają się pokarmem dla drapieżników szczytowych, takich jak dorsze czy foki.

Zagrożenie ze strony zatopionej amunicji stanowi realne i wielowymiarowe ryzyko dla zdrowia ludzkiego. Ekspozycja ludzi na toksyczne substancje może zachodzić trzema głównymi drogami: poprzez spożycie skażonych owoców morza, bezpośredni kontakt skórny oraz inhalację.

Spożycie owoców morza jest najbardziej badaną drogą narażenia dla ogółu populacji. Toksyczne związki, w tym metabolity TNT i produkty degradacji arsenowych BST, bioakumulują się w tkankach ryb i bezkręgowców poławianych w Bałtyku. Mimo że przygotowane oceny ryzyka sugerują, że stężenia związków macierzystych w jadalnych częściach ryb są minimalne, nie można tego problemu bagatelizować. Wciąż brakuje danych dotyczących toksyczności i bioakumulacji wielu produktów degradacji, a także długoterminowych skutków chronicznego spożywania niskich dawek mieszaniny różnych substancji niebezpiecznych, aby z całą odpowiedzialnością stwierdzić, że to ryzyko nie ma wpływu na zdrowie ludzi.

Kontakt przez skórę stanowi najpoważniejsze i najbardziej bezpośrednie zagrożenie, głównie dla rybaków oraz pracowników zaangażowanych w podwodne prace budowlane i pogłębiarskie. Zagrożenie to odnosi się głównie do parzących środków trujących. Odnotowano setki incydentów, w których rybacy wyłowili w sieciach bryły iperytu siarkowego lub całe pociski (HELCOM, 2013). Kontakt z iperytem powoduje ciężkie, trudno gojące się oparzenia chemiczne III stopnia. Równie niebezpieczny jest biały fosfor, który wyrzucany na brzeg może być mylony z bursztynem. Po wyschnięciu ulega samozapłonowi o temperaturze około 1300°C, powodując głębokie i bolesne oparzenia.

Skutki przewlekłe stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia publicznego. Wiele substancji uwalnianych z amunicji ma właściwości kancerogenne (rakotwórcze) i mutagenne. Iperyty siarkowy jest sklasyfikowany przez IARC (*The International Agency for Research on Cancer*) jako substancja rakotwórcza dla ludzi (Grupa 1), zwiększająca ryzyko nowotworów dróg oddechowych i skóry. Trotyl uważany jest za potencjalnie rakotwórczy, a długotrwała ekspozycja na niego może prowadzić do uszkodzenia wątroby, niedokrwistości i zaćmy. Związki arsenu nieorganicznego są potwierdzonymi kancerogenami (Grupa 1 IARC), powodującymi nowotwory skóry, płuc i pęcherza moczowego.

W tabeli (Tabela 27) zaprezentowano istotne na zachowanie się w środowisku morskim właściwości fizykochemiczne wybranych BST, natomiast w tabeli (Tabela 28) przedstawiono parametry charakteryzujące toksyczność najistotniejszych substancji niebezpiecznych zatopionych w Morzu Bałtyckim.

Tabela 27. Charakterystyka wybranych BST zatopionych w Bałtyku (na Głębi Gdańskiej)

Substancja	Gęstość [g/cm ³]	Rozpuszczalność w wodzie	Temperatura topnienia [°C]	Główne produkty degradacji	Uwagi
Iperyty siarkowy (HD)	~1,27	~0,8 g/L (20°C)	14,4	Tiodiglikol (TDG), 1,4-ditian, 1,4-tioksan	Stanowi ~80% zatopionych BST
Clark I (DA)	1,42	Niska	N/D	Kwas difenyloarsynowy (DPAA)	Środek drażniący, trwały
Adamsyt (DM)	1,65	~0,4 g/L	N/D	Kwas fenarsazynowy	Arsenoorganiczny, 14 metabolitów
Luizyt I (L)	1,88	~0,5 g/L	N/D	Kwas 2-chlorowinyloarsonowy (CVAA)	Środek parzący, hydrolizuje szybko

Tabela 28. Wartości toksyczności ostrej (LC₅₀/EC₅₀) dla wybranych substancji zatopionych w Bałtyku (na Głębi Gdańskiej)

Substancja	Organizm testowy	Wartość (48 h)	Typ danych	Źródło
Iperyty siarkowy (HD)	<i>Daphnia magna</i>	18 µg/L (LC ₅₀)	Laboratoryjne	VNU EES, 2021
1,2,5-trithiepane	<i>Daphnia magna</i>	224 µg/L (LC ₅₀)	Laboratoryjne	Czub i in., 2020
Clark I	<i>Daphnia magna</i>	8,9 µg/L (EC ₅₀)	Lab. (chroniczne)	Brzeziński i in., 2020
TNT	Różne organizmy	1–10 mg/L (LC ₅₀)	Lab. (ogólne)	Vedenin i in., 2025
RDX	Różne organizmy	~5–15 mg/L	Laboratoryjne	Literatura ogólna

2 ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE

2.1 Podstawa prawna – wybrane akty normatywne

2.1.1 Prawo krajowe

- Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z 2 kwietnia 1997 r.;
- Ustawa z 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy;
- Ustawa z 21 marca 1991 r. o obszarach morskich RP i administracji morskiej;
- Ustawa z 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej;

- Ustawa z 16 marca 1995 r. o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki;
- Ustawa z 11 stycznia 2001 r. o wdrażaniu Konwencji o zakazie broni chemicznej;
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska;
- Ustawa z 18 września 2001 r. – Kodeks morski;
- Ustawa z 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami;
- Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody;
- Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym;
- Ustawa z 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie morskim;
- Ustawa z 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych;
- Ustawa z 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne;
- Ustawa z 13 czerwca 2019 r. o systemie zarządzania bezpieczeństwem chemicznym;
- Ustawa z 13 czerwca 2019 r. o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym;
- Ustawa z 11 marca 2022 r. o obronie Ojczyzny.

2.1.2 Prawo międzynarodowe

- Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza, sporządzona w Bay dnia 10 grudnia 1982 r.;
- Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji, sporządzona w Moskwie, Waszyngtonie, Londynie i Meksyku dnia 29 grudnia 1972 r.;
- Międzynarodowa Konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu, sporządzona w Londynie dnia 1 listopada 1974 r.;
- Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, sporządzona w Paryżu dnia 13 stycznia 1993 r.

2.2 Prawne aspekty neutralizacji zatopionej w Morzu Bałtyckim broni chemicznej

2.2.1 Prawo międzynarodowe – wybrane źródła prawa

Prawne aspekty neutralizacji broni chemicznej zatopionej w okresie po zakończeniu II wojny światowej obejmują wybrane regulacje międzynarodowe. W kontekście przedmiotowej problematyki pominąć można porozumienia międzynarodowe, które choć są istotne historycznie, gdyż stanowią źródła prawa dotyczące zakazu broni chemicznej, to jednak nie mają wprost zastosowania do jej neutralizacji.

Konwencja Narodów Zjednoczonych o Prawie morza

System prawny, regulujący w sposób całościowy działalność państw i innych podmiotów prawa na obszarach morskich, wywodzi się z Konwencji Narodów Zjednoczonych o Prawie Morza z 1982 r. Konwencja weszła w życie w 1994 r., stając się obowiązującym aktem normatywnym dla 168 państw. Przedmiotowe porozumienie międzynarodowe nie zawiera procedury mającej wprost zastosowanie do neutralizacji zatopionej w morzu broni chemicznej. Należy jednak zauważyć, iż rozdział XII Konwencji

nakłada na Państwa–Strony szereg obowiązków związanych z zapobieganiem, ograniczaniem i kontrolą zanieczyszczania środowiska morskiego ze wszystkich źródeł, tj. z lądu, morza i atmosfery. Zasadne jest również przywołanie konkluzji z art. 194 paragraf 3a, art. 197 i 235 Konwencji. Dyspozycja norm prawnych wynikających z tychże przepisów kształtuje zobowiązanie państw do usuwania wszelkich zatopień, jako jednych ze źródeł zanieczyszczeń środowiska morskiego, w oparciu o obowiązek współpracy w zakresie praktyki oraz procedur, co podlega odpowiedzialności międzynarodowej państw w przypadku niewykonywania albo nienależytego wykonania wymienionych zobowiązań.

Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów

Konwencja o prawie morza nie zawiera przepisów wprost odnoszących się do zatopionej broni chemicznej. Unormowania takie można natomiast zidentyfikować w dwóch innych porozumieniach – w Konwencji o zapobieganiu zanieczyszczaniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji, sporządzonej w Moskwie, Waszyngtonie, Londynie i Meksyku dnia 29 grudnia 1972 r. wraz z Protokołem z 1997 r. oraz w Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, sporządzonej w Paryżu dnia 13 stycznia 1993 r. (dalej Konwencja CWC).

Mimo że Konwencja CWC zawiera przepisy odnoszące się do broni chemicznej, pomijając tu aspekt statusu – przynależności zatopionej broni chemicznej, przedmiotowa umowa międzynarodowa nie zawiera jednoznacznych rozwiązań proceduralnych, jak również regulacji jednoznacznie przypisujących odpowiedzialność za likwidację tejże broni. Przyjmując za treścią art. 1, pkt 2 i 3 Konwencji CWC, iż zobowiązanie takie spoczywa na Państwie–Stronie, na terytorium którego lub obszarze jurysdykcji znajduje się zatopiona broń chemiczna, to zwrócić należy uwagę na wyłączenie zawarte w art. III pkt 2 oraz IV pkt 17 Konwencji: „Postanowienia niniejszego artykułu (tj. art. III pkt 2) oraz stosownych postanowień części IV Załącznika dotyczącego weryfikacji, według uznania Państwa–Strony, mogą nie mieć zastosowania do broni chemicznej zakopanej na jego terytorium przed 1 stycznia 1977 r., i która pozostaje zakopana, albo która została zatopiona w morzu przed 1 stycznia 1985 r.” oraz „Postanowienia niniejszego artykułu (tj. art. IV pkt 17) i odpowiednich postanowień części IV Załącznika dotyczącego weryfikacji, według uznania Państwa–Strony, mogą nie mieć zastosowania do broni chemicznej zakopanej na jego terytorium przed 1 stycznia 1977 r., i która pozostaje zakopana, lub która została zatopiona w morzu przed 1 stycznia 1985 r.”.

Podjęcie działań mających na celu likwidację zatopionej w morzu broni chemicznej poprzez jej wydobywanie, a następnie zniszczenie skutkuje z jednej strony uchYLENIEM stosowania wyżej wymienionych przepisów wyłączających, z drugiej strony inicjuje szereg zobowiązań dotyczących procesu neutralizacji:

- ustalenie rodzaju zatopionej broni chemicznej w odwołaniu się do definicji użytych w art. II, w związku z Częścią B pkt 6;
- uwzględnienie obowiązku deklaracyjnego, a także informacyjnego do Sekretariatu Technicznego;
- uwzględnienia metod neutralizacji respektujących przepisy Części IV A pkt 12 i 13 w związku z art. IV.

Jeśli zatem rozważyć proces niszczenia broni chemicznej zadeklarowanej, stwierdzić należy za Konwencją, iż „niszczenie broni chemicznej” oznacza proces, podczas którego związki chemiczne ulegają zasadniczo nieodwracalnej przemianie w formę nieprzydatną do produkcji broni chemicznej i który w nieodwracalny sposób czyni amunicję i inne urządzenia bezużytecznymi jako takie. Każde Państwo–Strona samo określi sposób, w jaki niszczyć będzie broń chemiczną, z tym że nie będzie stosować następujących metod: zatapiania w jakimkolwiek środowisku wodnym, zakopywania w ziemi i spalania na otwartej przestrzeni. Będzie ono **niszczyć broń chemiczną wyłącznie w specjalnie przeznaczonych i odpowiednio zaprojektowanych oraz wyposażonych obiektach**. Każde Państwo–Strona zapewni, aby jego obiekty niszczenia broni chemicznej były skonstruowane i eksploatowane w sposób zapewniający zniszczenie broni chemicznej oraz aby proces niszczenia był weryfikowalny zgodnie z postanowieniami Konwencji.

Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji

Przedmiotowa Konwencja wyraża zakaz zatapiania, rozumianego jako każde rozmyślne usuwanie do morza odpadów lub innych substancji ze statków, samolotów, platform lub innych urządzeń umieszczonych w morzu, o czym stanowi treść art. III, ust. 1 a). Umowa ta zabrania zatapiania wszelkich odpadów wymienionych w Załączniku I, m.in. pkt 7, tj. materiałów produkowanych w jakiejkolwiek postaci (np. ciała stałe, ciecze, ciała półpłynne, gazy lub żywe organizmy) do prowadzenia wojny biologicznej i chemicznej.

Należy w świetle przepisów tejże Konwencji rozważyć możliwość szerokiej interpretacji pojęcia „zatapianie” jako każdą formę pozbywania się odpadów przez ich wrzucenie, wypuszczenie, rozpylenie lub jakiejkolwiek inne uwolnienie do morza, np. rozproszenie, co należy wziąć pod uwagę przy neutralizacji *in situ* zatopionej broni chemicznej, Konwencja nakłada bowiem na strony obowiązek ochrony środowiska i zapobiegania szkodom.

Podobne wnioski związane są z wytycznymi w zakresie ochrony środowiska, szczególnie na obszarze tzw. wód przybrzeżnych, które wynikają z Ramowej dyrektywy wodnej (2000/60/WE) i Ramowej Dyrektywy w sprawie Strategii Morskiej (2008/56/WE).

2.2.2 Prawo krajowe – wybrane

Celem niniejszego opracowania nie jest analiza wszystkich wymienionych w punkcie 2.1 aktów normatywnych, co będzie miało miejsce przy analizie planu neutralizacji, a jedynie wskazanie kluczowych aspektów prawnych neutralizacji jako takiej.

Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej

Przepisy polskiej ustawy zasadniczej mogą być stosowane wprost. Część z nich ma zastosowanie do problematyki neutralizacji broni chemicznej.

Art. 5, mający rangę zasady konstytucyjnej – ustrojowej stanowi: „Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże dziedzictwa narodowego oraz zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju”. U podstaw realizacji tych funkcji leży zasada zrównoważonego rozwoju państwa i gospodarki narodowej, w tym ochrony środowiska.

Z kolei art. 68 Konstytucji nakłada na władze publiczne m.in. obowiązek zwalczania chorób, epidemii i zapobiegania negatywnym dla zdrowia skutkom degradacji środowiska. Jednakże i w tym przypadku Konstytucja nie określa ani form, ani zakresu tych obowiązków.

Artykuł 74 nakłada na władze publiczne obowiązek prowadzenia polityki, która zapewni bezpieczeństwo ekologiczne społeczeństwu, ochrona środowiska stanowi zatem obowiązek władz publicznych.

Zastosowanie będzie miał również art. 228 Konstytucji, jako inicjujący działania państwa w stanach szczególnego zagrożenia.

Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym

W prawne aspekty neutralizacji broni chemicznej wpisują się przepisy Ustawy o zarządzaniu kryzysowym, w zakresie przez nią regulowanym. Nie pomijając zadań Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa, należy zwrócić uwagę, iż Ustawa pozwala na zaangażowanie w proces neutralizacji broni chemicznej zatopionej w Bałtyku Sił Zbrojnych RP. Zakres użycia Sił Zbrojnych obejmuje następujące aspekty:

- prowadzenie prac wymagających użycia specjalistycznego sprzętu technicznego lub materiałów wybuchowych będących w zasobach Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej;
- usuwanie materiałów niebezpiecznych i ich unieszkodliwianie, z wykorzystaniem sił i środków będących na wyposażeniu Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej;
- likwidowanie skażeń chemicznych oraz skażeń i zakażeń biologicznych.

Z wymienionymi powyżej zadaniami korespondują przepisy Ustawy o obronie Ojczyzny z 2022 r. W świetle tego aktu normatywnego Siły Zbrojne mogą brać udział w zwalczaniu klęsk żywiołowych i likwidacji ich skutków, działaniach antyterrorystycznych, działaniach z zakresu ochrony mienia, akcjach poszukiwawczych, akcjach ratowania lub ochrony zdrowia i życia ludzkiego, ochronie i obronie cyberprzestrzeni, oczyszczaniu terenów z materiałów wybuchowych i niebezpiecznych pochodzenia wojskowego oraz ich unieszkodliwianiu, a także w realizacji zadań z zakresu zarządzania kryzysowego.

Ustawa z 11 stycznia 2001 r. o wdrażaniu Konwencji o zakazie broni chemicznej

Ustawa wdraża postanowienia Konwencji CWC do porządku krajowego. Ustawa podobnie jak inne akty normatywne z porządku krajowego czy międzynarodowego nie zawiera procedury neutralizacji broni chemicznej w ścisłym znaczeniu. Nie wyraża również zakazu podjęcia takiej neutralizacji, co do zasady nie rozróżniając niszczenia *in situ* i *ex situ*.

Należy natomiast zwrócić uwagę, iż ustawa wyraża wskazówki dotyczące obowiązku informacyjnego związanego z wydobywaniem i niszczeniem broni chemicznej do właściwego organu odpowiedzialnego za realizację postanowień Konwencji, w zależności od tego czy działalność taką podejmuje podmiot komercyjny czy zależny od resortu obrony narodowej.

Neutralizacja – ustawa o obszarach morskich RP

W świetle Ustawy o obszarach morskich RP i administracji morskiej kluczowe przepisy prawne wprowadzono w rozdziale 5a, w świetle którego podmioty, które podejmują działalność mającą na celu neutralizację niebezpiecznych materiałów, będą musiały występować do dyrektora właściwego urzędu

morskiego o wydanie pozwolenia na planowane działania. Przepisy zawarte w treści art. od 32b do 32e wprowadzają kompleksowe ramy prawne dotyczące postępowania z zatopionymi materiałami niebezpiecznymi w polskich obszarach morskich. Określają, jakie kategorie obiektów i substancji są uznawane za materiały niebezpieczne, w tym amunicję, broń, broń chemiczną oraz wraki zawierające paliwa lub inne substancje stwarzające zagrożenie. Regulacja ustanawia procedurę zgłaszania ich wykrycia lub identyfikacji, z centralną rolą Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej (BHMW) jako podmiotu gromadzącego i przekazującego informacje właściwym organom morskiej administracji i służbom ratowniczym. Tym samym wprowadza się:

- legalną definicję zatopionych materiałów niebezpiecznych, obejmującą amunicję, broń, materiały wybuchowe, broń chemiczną oraz wraki, na których lub w bezpośrednim sąsiedztwie których znajdują się paliwa, substancje ropopochodne albo inne materiały niebezpieczne;
- procedurę zgłoszeniową w przypadku podejrzenia wykrycia lub identyfikacji zatopionych materiałów niebezpiecznych;
- obowiązek uzyskania pozwolenia dyrektora urzędu morskiego na prowadzenie neutralizacji zatopionych materiałów niebezpiecznych; Art. 32d ust. 5 wprowadza materialną przesłankę odmowy wydania pozwolenia, jeżeli potencjalne szkody dla środowiska morskiego, żeglugi, obronności i bezpieczeństwa państwa lub ochrony zabytków przeważają nad spodziewanym efektem neutralizacji;
- obowiązek przekazywania danych pomiarowych oraz informacji dotyczących identyfikacji, monitorowania i neutralizacji zatopionych materiałów niebezpiecznych do BHMW.

2.3 Wnioski

W obecnym stanie prawnym nie istnieją przepisy prawne tworzące łańcuch uporządkowanych, formalnych czynności, który można nazwać procedurą. Nie oznacza to jednak, iż w prawie międzynarodowym, unijnym czy krajowym istnieją przepisy, z których wyinterpretować można normę zakazującą postępowania polegającego na neutralizacji zatopionej w morzu broni chemicznej.

Przedstawienie rozwiązań prawnych stanowiących mapę postępowania w trakcie neutralizacji broni chemicznej zależy od i wymaga przedstawienia planu określającego przewidywaną metodę neutralizacji. Oczyszczanie dna morskiego z broni chemicznej oparte jest w aktualnym stanie technicznym na różnych metodach, uzależnionych w swoim zastosowaniu od szeregu czynników, identyfikowanych na etapie eksploracji. Neutralizację postrzegać należy zatem jako zbiór metod. Tym samym jako zbiór podlegać będzie podziałowi logicznemu na niszczenie *in situ* i *ex situ*. Części tego podziału podlegają z kolei dalszej klasyfikacji. Zatem procedura jest zależna od wyboru elementów klasyfikacji.

Uwagi wymaga w tym kontekście niekiedy sporna ocena tego, co jest neutralizacją polegającą na wydobyciu, a co neutralizacją w miejscu.

W tabelach przedstawiono podstawy prawne dla neutralizacji amunicji chemicznej na plaży (Tabela 29) oraz procedury transportu do portu wyłowionej w morzu amunicji chemicznej (Tabela 30).

Tabela 29. Podstawy prawne dla neutralizacji amunicji chemicznej na plaży (źródło: opracowanie własne)

Etap działań	Organ odpowiedzialny	Podstawa prawna	Zakres decyzji / działania
Zabezpieczenie i zamknięcie plaży	Wójt/burmistrz/ prezydent miasta Wojewoda – jeśli zadanie przekracza kompetencje gminy	Ustawa o samorządzie Ustawa o zarządzaniu kryzysowym	Zarządzenie zamknięcia plaży, ograniczenie dostępu, współpraca z PSP i Policją
Wyznaczenie strefy niebezpiecznej i kierowanie akcją	Komendant PSP (powiatowy/ wojewódzki)	Ustawa o PSP (Dz.U. 1991 nr 88 poz. 400)	Wyznaczenie strefy zagrożenia, kierowanie działaniami ratowniczymi
Ewakuacja i zabezpieczenie terenu	Policja/Straż Graniczna/ Żandarmeria Wojskowa	Ustawa o Policji (Dz. U. 2025 poz. 636) Ustawa o SG (Dz.U. 1990 nr 78 poz. 462) Ustawa o obronie Ojczyzny (Dz.U. 2022 poz. 655)	Fizyczne zabezpieczenie terenu, kontrola dostępu, ewakuacja cywilów
Postawienie instalacji neutralizacyjnej	Wojewoda/Starosta/ Urząd morski/ RDOŚ/WIOŚ/Sanepid	Ustawa o obszarach morskich RP (Dz.U. 2025 poz. 409), art. 36 Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2024 poz. 34), art. 152–153 Ustawa o odpadach (Dz.U. 2024 poz. 1587), art. 35–37 Ustawa o ochronie przyrody (Dz.U. 2023 poz. 1336), art. 33–34 Ustawa o PIS (Dz.U. 2023 poz. 1234), art. 4–5	Zgody środowiskowe i sanitarne, lokalizacja i uruchomienie instalacji, gospodarka odpadami
Zgłoszenie międzynarodowe (OPCW)	Ministerstwo Spraw Zagranicznych/MON	Konwencja CWC, art. III i IV Ustawa o wykonywaniu CWC (Dz.U. 2001 Nr 76 poz. 811)	Zgłoszenie wydobycia, transportu i neutralizacji amunicji chemicznej do OPCW

Tabela 30. Transport do portu (źródło: opracowanie własne)

Element procedury	Port cywilny	Port wojenny	Podstawa prawna
Zgłoszenie ładunku	Zgłoszenie do kapitanatu portu i zarządu portu	Zgłoszenie wewnętrzne w strukturze MON	Ustawa o przewozie towarów niebezpiecznych, rozporządzenie z 1974 r., IMDG Code
Zgoda na wprowadzenie do portu	Wymagana zgoda kapitanatu i/lub zarządu portu	Decyzja dowódcy portu wojennego	Ustawa o bezpieczeństwie morskim, rozporządzenie z 1974 r.
Miejsce wyładunku	Wyznaczone nabrzeże, czasowe wyłączenie strefy	Wydzielone wojskowe nabrzeże amunicyjne	Przepisy portowe, wewnętrzne regulaminy MON

Element procedury	Port cywilny	Port wojenny	Podstawa prawna
Obowiązkowa obecność służb	Straż pożarna, WIOŚ, Straż Graniczna, Policja	Wojskowa straż pożarna, Żandarmeria Wojskowa	Prawo ochrony środowiska, wewnętrzne przepisy MON
Asysta specjalistów	Rzecznicy ds. materiałów niebezpiecznych	Wojskowi specjaliści CBRN	Rozporządzenie z 1974 r., regulaminy wojskowe
Zamykanie portu	Częściowe (np. ograniczenie ruchu na torze wodnym)	Pełna kontrola przez wojsko, brak dostępu cywilów	Ustawa o bezpieczeństwie morskim, przepisy portowe
Transport lądowy po wyładunku	Koncesjonowana firma, konwój policyjny	Transport wojskowy, eskortowany	Ustawa o materiałach wybuchowych, ustawa o obronie Ojczyzny

3 TECHNOLOGIE NEUTRALIZACJI I REMEDIACJI

3.1 Metody neutralizacji zatopionej amunicji konwencjonalnej. Ogólna charakterystyka stosowanych technik neutralizacji zatopionej amunicji konwencjonalnej. Sposoby wykorzystania ROV dostępnych i użytkowanych w kraju

Z uwagi na ciągły wzrost liczby inwestycji związanych z rozwojem gospodarki morskiej, pogłębianie torów wodnych, nowe inwestycje w odnawialne źródła energii (farmy wiatrowe na akwenach morskich) oraz przebudowa portów i nabrzeży coraz częściej mamy do czynienia z wykrywaniem zatopionej amunicji konwencjonalnej i chemicznej. Osobnym zagadnieniem jest problem amunicji topionej w Bałtyku w latach powojennych, która w latach 50. ubiegłego wieku rozwiązywała problem niechcianych środków bojowych, ale obecnie stanowi ogromne zagrożenia dla środowiska, ludzi oraz całego otoczenia. Każda zatopiona amunicja, bez względu na okoliczności, w przypadku jej wykrycia podlegać powinna neutralizacji i nie może być pozostawiona sama sobie.

Obecnie jedyną oficjalną formacją uprawnioną do neutralizacji takich znalezisk są wyspecjalizowane grupy nurków minerów (GNM) działających w ramach dywizjonów Marynarki Wojennej RP. Te specjalistyczne jednostki wydzielone do neutralizacji wykorzystują różnego rodzaju metody i techniki skutecznej neutralizacji zatopionej amunicji.

Neutralizacja zatopionej amunicji to złożony proces, który uwzględnia aspekty techniczne, ekologiczne oraz bezpieczeństwa i dlatego wybór odpowiedniej metody powinien uwzględniać aktualne ograniczenia (MON, 2014; MON, 2015; DGRSZ, 2014) tj.:

- miejsce zalegania amunicji;
- czasowe ograniczenia w transporcie;
- ruch turystyczny;
- ochronę środowiska naturalnego;
- ochronę zabytków i infrastruktury hydrotechnicznej;
- możliwości zabezpieczenia rejonu przez służby.

Z powyższych ograniczeń wynika, że przed wyborem sposobu neutralizacji zatopionych materiałów wybuchowych i niebezpiecznych (MWiN) należy podjąć decyzję o miejscu niszczenia (Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych, 2014; Dz.U. 2021 poz. 1377; Dz. U. 2023 poz. 2286). MWiN mogą zostać:

- zniszczone w miejscu zalegania;
- przetransportowane i zniszczone w innym bezpieczniejszym miejscu wyznaczonym przez odpowiednie służby (właściwy Urząd Morski);
- wydobyte, przetransportowane (lub nie – plaża) i zniszczone na lądzie.

Dopiero po określeniu miejsca niszczenia można przystąpić do wyboru metody neutralizacji zatopionej amunicji konwencjonalnej.

Na proces niszczenia amunicji składa się:

- wykrywanie;
- identyfikacja (klasyfikacja);
- oględziny w terenie (ocena na miejscu zalegania);
- działania planistyczne (decyzja o sposobie niszczenia/neutralizacji);
- rozbrajanie;
- wydobywanie oraz zniszczenie amunicji.

Zadania te realizowane są przez specjalnie wyszkolony personel zorganizowany w brzegowych jednostkach niszczenia niewybuchów i niewypałów lub grupy pływonurków rozminowywania. Niszczenie niewybuchów i niewypałów może być prowadzone na dwóch etapach.

Etap 1 – rozbrajanie niewybuchów (niewypałów) – prowadzone w celu zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi lub innej działalności, prowadzonej w miejscach, w których środki te się znajdują. Można to osiągnąć poprzez ich neutralizację lub usunięcie. Pobudzenie i wywołanie detonacji głównego ładunku jest uzależnione od miejsca jego lokalizacji – odległość od szlaków żeglugowych, podwodnych elementów infrastruktury krytycznej i innych konstrukcji hydrotechnicznych.

Etap 2 – rozbrajanie niewybuchów (niewypałów), w taki sposób, aby nie stwarzały żadnego zagrożenia. To etap, w którym dysponuje się długim czasem operacyjnym – polega na niszczeniu wszystkich ładunków wybuchowych i ich elementów konstrukcji, które mogą stwarzać zagrożenie, np. wystających prętów, pojemników, elementów konstrukcyjnych, chemii, baterii wysokiego napięcia itp.

W przypadku zlokalizowania niewybuchu (niewypału) w morzu wystarczające są działania na pierwszym etapie.

Każdy proces niszczenia obiektu zawierającego materiał wybuchowy może być podzielony na trzy fazy:

Faza 1 – WYKRYWANIE – lokalizacja i wstępne rozpoznanie otoczenia oraz MWiN (identyfikacja/klasyfikacja);

Faza 2 – NEUTRALIZACJA – przerwanie algorytmu zadziałania¹³ układu inicjującego w taki sposób, aby ładunek stał się bezpieczny w celu prowadzenia dalszego badania zdarzenia, usuwanie lub niszczenie, wydobywanie oraz ogólne rozpoznanie;

Faza 3 – BADANIE ZDARZENIA – szczegółowe rozpoznanie techniczne (zbieranie i analizowanie informacji o przedmiotach).

Likwidacja niewybuchu może obejmować przywrócenie niewybuchu do stanu bezpiecznego lub stopniowe zniszczenie – jednakże nie poprzez pobudzenie i w konsekwencji odpalenie ładunku zasadniczego – materiału kruszącego.

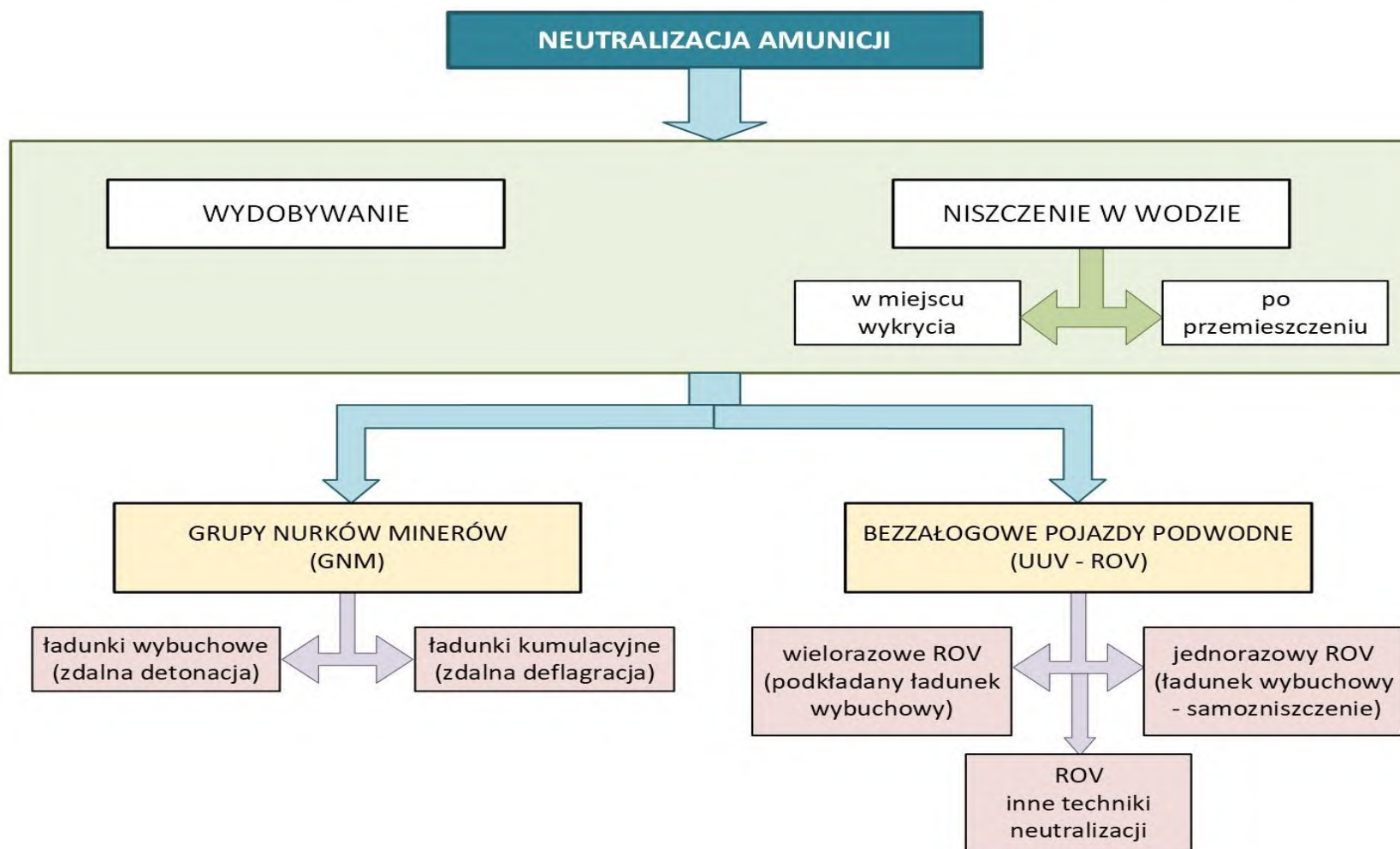
Techniki przywracania stanu bezpiecznego obejmują:

- przerywanie obwodu odpalania;
- przerywanie elektrycznego/mechanicznego obwodu uzbrajania;
- blokowanie i zakłócanie mechanizmów inicjujących;
- demontaż;
- neutralizacja poprzez:
 - użycie ładunków kumulacyjnych,
 - użycie wyrzutników pirotechnicznych,
 - dezaktywację przy użyciu środków chemicznych,
 - nawiercanie i usuwanie ładunku zasadniczego przy użyciu pary lub poprzez wyfukiwanie,
 - termitowe spalanie.

Jeżeli niemożliwe jest przywracanie stanu bezpiecznego niewybuchu ww. technikami, to wówczas można, jeżeli otrzyma się pozwolenie, przystąpić do jego neutralizacji przy pomocy zewnętrznych ładunków wybuchowych.

Metody neutralizacji zatopionej amunicji przedstawione na schemacie (Rysunek 14) dotyczą wyłącznie technik wykorzystywanych pod wodą. Na rysunku nie ujęto metod niszczenia na lądzie, po wydobyciu amunicji.

¹³**Przywracanie stanu bezpiecznego** – element działań związanych z likwidacją przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych, obejmujący zastosowanie specjalnych metod oraz narzędzi, za pomocą których można zabezpieczyć ten niewybuch przed niespodziewanym i niekontrolowanym wybuchem.



Rysunek 14. Metody neutralizacji zatopionej amunicji (źródło: opracowanie własne)

3.1.1 Neutralizacja przy udziale nurków

3.1.1.1 Za pomocą ładunków wybuchowych (detonacja)

Po wykryciu MWiN zespół specjalistów podejmuje decyzję o metodzie ich neutralizacji. Jedną z najczęstszych metod jest neutralizacja za pomocą zewnętrznych ładunków wybuchowych (Dz.U. 2023 poz. 2286, Dz.U. 2021 poz. 1377). Jest to metoda najtańsza, najszybsza i najbardziej skuteczna, gdyż MWiN ulega całkowitemu zniszczeniu. Metoda ta polega na przyłożeniu właściwej ilości materiałów wybuchowych w odpowiednim miejscu w zależności od rodzaju MWiN, a następnie jego detonacji.

W przypadku gdy po przeprowadzeniu rozpoznania rodzaj MWiN nie pozwala na zmianę jego położenia z uwagi na niebezpieczeństwo niekontrolowanego wybuchu, metoda ta może być stosowana w miejscu znalezienia MWiN. W przypadku gdy MWiN będzie niszczone w miejscu wykrycia, a w pobliżu znajdują się ważne obiekty hydrotechniczne lub instalacje podwodne, należy rozważyć inną metodę neutralizacji, dzięki której zmniejszy się ryzyko uszkodzenia tych elementów.

W przypadku gdy występuje możliwość transportu MWiN w wyznaczone miejsce niszczenia, np. na poligon morski lub lądowy, na którym wpływ na infrastrukturę hydrotechniczną i środowisko naturalne będzie minimalny, w takim przypadku najczęściej stosuje się metodę wybuchową.

Gdy obiekt nie stwarza bezpośredniego zagrożenia, może zostać wydobyty na powierzchnię przez wykwalifikowany personel, np. Zespół Rozminowania Grupy Nurków Minerów. Po wydobyciu i przetransportowaniu na brzeg obiekt zostaje przekazany Patrolowi Saperskiemu, który transportuje go drogą lądową na poligon wojskowy, gdzie zostaje zniszczony metodą wybuchową.

Metoda wybuchowa powoduje całkowitą neutralizację obiektu, natomiast jeśli nie ma możliwości wydobycia obiektu lub zmiany jego położenia, wówczas ma znaczący negatywny wpływ na środowisko naturalne oraz obiekty hydrotechniczne i instalacje podwodne znajdujące się w strefie niebezpiecznej (Tabela 31).

Tabela 31. Kluczowe zalety i ograniczenia metody detonacja (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Pełna neutralizacja/całkowite zniszczenie obiektu, eliminujące dalsze zagrożenie. • Najszybsza realizacja w porównaniu z alternatywami. • Relatywnie najniższe koszty sprzętowo-czasowe. • Bezpieczeństwo zespołu – zdalna inicjacja ogranicza ekspozycję nurków i personelu. • Możliwa, gdy przemieszczenie PWiN jest zbyt ryzykowne. • Można przeprowadzić w miejscu znalezienia lub po transporcie na poligon, co w sprzyjających warunkach minimalizuje wpływ na infrastrukturę i środowisko. • Dojrzałość procedur i wyposażenia: sprawdzone standardy działania i szeroka dostępność sprzętu. • Wysoka przewidywalność efektu przy właściwym doborze parametrów i zabezpieczeń.	• Negatywny wpływ na środowisko – metoda najmniej preferowana na obszarach wrażliwych. • Wysoki poziom hałasu i wstrząsów – zagrożenie dla ssaków morskich i ryb; konieczne strefy wyłączenia i środki łagodzące (np. kurtyny bąbelkowe). • Możliwość uszkodzeń obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów, zwłaszcza przy niszczeniu w miejscu wykrycia. • Ryzyko wtórnego zanieczyszczenia i ewentualnego uwolnienia substancji toksycznych z historycznych ładunków. • Pozwolenia środowiskowe, koordynacja z administracją morską, ograniczenia sezonowe. • Logistyka operacyjna – wyznaczanie stref bezpieczeństwa, czasowe wstrzymanie żeglugi/rybołówstwa, zabezpieczenie perymetru, wymóg specjalistycznego personelu i transportu.

Zalety	Wady i ograniczenia
	• Zależność od warunków morskich. • Ryzyko detonacji sympatycznej – wzbudzenie pobliskich obiektów lub przedwczesna inicjacja niestabilnych PWiN. • Przy dużych obiektach konieczność wieloetapowych detonacji, co kumuluje oddziaływania akustyczne.

3.1.1.2 Za pomocą ładunków kumulacyjnych (deflagracja)

Zatopione MWiN coraz częściej są neutralizowane poprzez deflagrację (wypalanie) materiału wybuchowego z zastosowaniem modułowych systemów kumulacyjnych Vulcan i Pluton. Nawet niepełny proces deflagracji zachodzący wewnątrz obiektu zmniejsza ilość ładunku głównego i przekłada się na mniejsze oddziaływanie na środowisko naturalne, infrastrukturę hydrotechniczną i instalacje podwodne znajdujące się w strefie niebezpiecznej.

Tą metodę najczęściej stosuje się w przypadku, gdy nie ma możliwości przetransportowania MWiN w wyznaczone miejsce niszczenia (Alford Technologies, 2014; Alford Technologies, 2015). Wadą tej metody jest to, że proces deflagracji może przejść w niekontrolowaną detonację (Tabela 32).

Ładunki kumulacyjne powinny być użyte w celu:

- otwarcia korpusu niewybuchu i uzyskania dostępu do wnętrza;
- rozczłonkowania korpusu i uszkodzenia mechanizmu wewnętrznego niewybuchu w takim stopniu, aby niewybuch nie stwarzał zagrożenia (był funkcyjnie niesprawny);
- „odcięcia” mechanizmów komory lub źródeł zasilających od detonatora lub „odcięcia” ładunku zasadniczego od detonatora;
- otwarcia bezpośredniego dostępu do ładunku zasadniczego i poprzez to umożliwienie jego usunięcia lub zlikwidowania w inny sposób;
- doprowadzenia do spalania wybuchowego lub deflagracji ładunku zasadniczego.

Tabela 32. Kluczowe zalety i ograniczenia metody deflagracja (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Mniej gwałtowna niż detonacja, spalanie/kontrolowane unieszkodliwianie zamiast pełnej eksplozji. • Korzystniejsze dla środowiska morskiego (niższy poziom hałasu i mniejsza fala wstrząsowa). • Mniejsze oddziaływanie na środowisko i infrastrukturę: nawet częściowa deflagracja zmniejsza masę ładunku zasadniczego, redukując strefę oddziaływań oraz ryzyko uszkodzeń obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów. • Neutralizacja <i>in situ</i> – szczególnie gdy transport obiektu do miejsca niszczenia jest niemożliwy.	• Ryzyko przejścia w niekontrolowaną detonację podczas procesu. • Nie gwarantuje całkowitego zniszczenia: często wymaga dalszych działań. • Złożoność techniczna i operacyjna – silna zależność od typu UXO, geometrii i bardzo precyzyjnego umiejscowienia ładunków; wyższe wymagania szkoleniowe i sprzętowe. • Zależność od warunków środowiskowych: prądy, widoczność i konfiguracja ustawienia wpływają na uzyskanie efektu kumulacji; możliwe wydłużenie czasu operacji.

Zalety	Wady i ograniczenia
Wsparcie narzędziami specjalistycznymi: modułowe systemy kumulacyjne (np. Vulcan, Pluton) oraz ładunki skupione/wydłużone umożliwiają precyzyjne działania pod wodą z zachowaniem właściwych odległości i efektu kumulacji.	- Potencjalne rozszczelnienie i uwolnienie substancji niebezpiecznych z wnętrza obiektu (np. historyczne środki toksyczne) podczas otwierania korpusu. - Wymogi regulacyjne i logistyczne – strefy bezpieczeństwa, koordynacja, potencjalne ograniczenia sezonowe. - Możliwie wyższe koszty i dłuższy czas przygotowań niż przy detonacji, mimo mniejszego oddziaływania akustycznego.

3.1.1.2.1 Skupione ładunki kumulacyjne

Skupiony ładunek kumulacyjny (podwodne kształtki kumulacyjne) przedstawia sobą cylinder, do którego dołącza się podstawę. Z jednej strony znajduje się gniazdo zapalnika, a z drugiej strony cylinder wyposażony jest w odwrócony stożek – wkładkę kumulacyjną. Wkładki mogą być wykonane z plastiku, miedzi, aluminium lub magnezu. Cylinder powinien być wypełniony plastycznym materiałem wybuchowym. Dołączone nóżki lub statyw zapewniają zachowanie właściwych odległości w ułożeniu stożka do ładunku – co z kolei jest istotne dla uzyskania właściwego, zamierzonego efektu. Ładunek ten może być użyty pod wodą, jednakże strona z wkładką musi być zabezpieczona specjalnym stożkiem, który wytworzy przestrzeń powietrzną niezbędną do utworzenia efektu kumulacji. Stożek umożliwia utrzymanie prawidłowej odległości ładunku od przedmiotu neutralizowanego.

3.1.1.2.2 Wydłużone ładunki kumulacyjne

Wydłużony ładunek wybuchowy to materiał wybuchowy umieszczony w elastycznej osłonie, odpowiednio ukształtowanej – tak, aby na całej jej długości jedna strona była uformowana w kształcie odwróconej litery V z wkładką wykonaną z miedzi lub aluminium. Wydłużony ładunek wybuchowy może być formowany na różne sposoby – zależnie od konfiguracji ciętego materiału. Ciąg można zarówno materiały metalowe, jak i niemetalowe, na lądzie i pod wodą. W sytuacji cięcia pod wodą ładunek powinien być zamontowany na ukształtowanej taśmie plastycznej.

Wydłużony ładunek kumulacyjny powinien być umiejscowiony na korpusie niewybuchu w taki sposób, aby ryzyko towarzyszące uszkodzeniu mechanizmu wewnętrznego tylko w znikomym stopniu groziło wybuchem zapalnika lub ładunku zasadniczego. Umiejscowienie ładunku powinno być zróżnicowane w zależności od typu neutralizowanego ładunku wybuchowego.

3.1.2 Neutralizacja przy użyciu pojazdu podwodnego

3.1.2.1 Za pomocą zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego typu ROV

Pojazdy ROV, czyli *Remotely Operated Vehicles*, to zdalnie sterowane, bezałogowe pojazdy podwodne, zdolne do zanurzenia i przebywania pod powierzchnią wody, które są połączone z operatorem na powierzchni za pomocą kabla. Służą one do eksploracji, inspekcji i wykonywania prac podwodnych w miejscach niedostępnych lub niebezpiecznych dla nurków w szerokim zakresie celów badawczych, naukowych, przemysłowych i militarnych (Enamor, 2025; Seabotix Inc., 2013).

W czasie misji przeciwminowej pojazd głębinowy podchodzi do obszaru podlegającego rozpoznaniu na podstawie informacji systemu śledzącego względną pozycję pojazdu głębinowego w przestrzeni wodnej. Do śledzenia ruchu pojazdu wykorzystuje się okrętową stację hydrolokacyjną. Gdy pojazd

głębinowy znajdzie się w pobliżu celu, przechwytuje on cel za pomocą zamontowanej na nim miniaturowej stacji hydrolokacyjnej (sonaru omiatającego). Sonar ten służy następnie do precyzyjnego i ostrożnego naprowadzenia pojazdu głębinowego na cel.

ROV jest połączony ze statkiem bazą za pomocą wiązki kabli służących do zasilania, przesyłu danych oraz ewentualnie holowania i sterowany przez operatora za pomocą specjalnej konsoli. Zasilane z wewnętrznych akumulatorów lub z powierzchni silniki zapewniają mu dużą zwrotność i możliwość poruszania we wszystkich kierunkach. W zależności od potrzeb użytkownika ROV może być wyposażony w: źródła światła, rejestratory sygnału wizyjnego, różnego rodzaju manipulatory (chwytak, nożyce tnące), magnetometr, sonar, inne czujniki itp.

Jedną z możliwości użycia pojazdu ROV jest użycie w celu neutralizacji amunicji konwencjonalnej przy wykorzystaniu ładunku wybuchowego (np. toczek).

Po ustawieniu ładunku pojazd podwodny wraca do okrętu, zostaje podniesiony na pokład, a ładunek jest odpalany za pomocą kodowanego sygnału hydroakustycznego, niszcząc MWiN.

Jest to system umożliwiający zdalne i bezprzewodowe odpalenie ładunków wybuchowych, opracowany w celu niszczenia min morskich, składa się z trzech typów ładunków bojowych. Poszczególne typy różnią się masą materiału wybuchowego oraz sposobem ich rozmieszczania w morzu w pobliżu obiektów docelowych.

Ładunki toczek typu A detonują miny morskie, a typu B niszczą ich głowice inicjujące, redukując potrzebę angażowania nurków dzięki użyciu zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych ROV lub AUV. Najmniejszy ładunek typu C jest przenoszony przez nurków-minerów, którzy podczepiają go do lin i łańcuchów min kotwicznych, powodując ich przecięcie i wypłynięcie miny na powierzchnię.

Przykładami pojazdu ROV są UKWIAŁ, DOUBLE EAGLE, V8-M500.

Ogólna charakterystyka pojazdów ROV

- **Zdalne sterowanie**

Operator kontroluje ruchy ROV oraz funkcje, takie jak kamera, oświetlenie czy manipulator, z powierzchni za pomocą kabla.

- **Różnorodność zastosowań**

Pojazdy ROV znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w badaniach naukowych, inspekcjach infrastruktury podwodnej (np. platform wiertniczych, rurociągów), poszukiwaniach i ratownictwie, a także w archeologii podwodnej.

- **Wyposażenie**

Pojazdy ROV mogą być wyposażone w kamery wysokiej rozdzielczości, oświetlenie, sonary, czujniki, manipulatory i inne narzędzia, w zależności od specyficznych potrzeb misji.

- **Dostęp do trudno dostępnych miejsc**

Pojazdy ROV mogą pracować w miejscach niedostępnych dla nurków, takich jak głębokie wody, jaskinie podwodne czy wraki statków.

- **Poprawa bezpieczeństwa**

Zastępują pracę nurków w niebezpiecznych warunkach, ograniczając ryzyko uszczerbku na zdrowiu i życiu.

- **Efektywność kosztowa**

Pojazdy ROV mogą obniżyć koszty wykonywania prac podwodnych w porównaniu do tradycyjnych metod z udziałem nurków.

- **Monitorowanie w czasie rzeczywistym**

Pojazdy ROV pozwalają na bieżąco monitorować warunki podwodne, efekty pracy oraz parametry, takie jak głębokość i czas pracy, co ułatwia planowanie i podejmowanie decyzji.

Przykładowe zastosowania:

- badania naukowe: badanie dna oceanu, życia morskiego, geologii podwodnej;
- inspekcje: sprawdzanie stanu technicznego platform wiertniczych, rurociągów, mostów, zapór wodnych;
- poszukiwanie i ratownictwo: lokalizacja wraków, zaginionych osób, przedmiotów, wykrywanie min;
- archeologia podwodna: dokumentowanie i badanie stanowisk archeologicznych pod wodą;
- prace konserwacyjne: czyszczenie, naprawy, cięcie podwodne;
- monitorowanie środowiska: kontrola zanieczyszczeń, analiza stanu ekosystemów.

Pojazdy ROV stanowią wszechstronne i efektywne narzędzie do eksploracji, inspekcji i wykonywania prac w środowisku podwodnym.

W tabeli (Tabela 33) zestawiono kluczowe zalety i wady metody.

Tabela 33. *Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacji przy użyciu ROV (źródło: opracowanie własne)*

Zalety	Wady i ograniczenia
- Ograniczenie bezpośredniego udziału nurków w strefie zagrożenia. - Zdalna realizacja działań – zwiększenie bezpieczeństwa personelu. - Możliwość działania w miejscach trudno dostępnych i niebezpiecznych dla nurków. - Możliwość jednoczesnego prowadzenia rozpoznania, identyfikacji i neutralizacji obiektu. - Bieżąca obserwacja celu i przebiegu operacji w czasie rzeczywistym dzięki kamerom, sonarom i czujnikom. - Wysoka precyzja podejścia do celu i pozycjonowania ładunku neutralizującego. - Ograniczenie ekspozycji personelu na przypadkową detonację oraz kontakt z substancjami niebezpiecznymi. - Szczególna przydatność w działaniach przeciwminowych oraz podczas identyfikacji obiektów przed ich zniszczeniem. - Możliwość wykorzystania różnych sensorów i narzędzi roboczych zależnie od charakteru misji.	- Zależność od warunków środowiskowych: widzialności, prądów, falowania oraz ukształtowania dna. - Ograniczenia operacyjne wynikające z długości kabla, zasięgu pracy oraz ryzyka jego zaplątania. - Ograniczona siła nośna i możliwości manipulatorów przy bardziej złożonych zadaniach. - Wysokie wymagania sprzętowe, techniczne i szkoleniowe. - Ryzyko awarii systemów pojazdu (napęd, sterowanie, manipulator, zasilanie), mogące skutkować przerwaniem operacji. - Konieczność wykorzystania jednostki bazowej oraz systemów wspomagających pozycjonowanie i śledzenie pojazdu. - W przypadku niektórych typów MWiN metoda może nie zapewniać pełnej neutralizacji i wymagać zastosowania dodatkowych środków. - Nadal możliwe oddziaływanie na środowisko naturalne, zwłaszcza gdy końcowy etap neutralizacji realizowany jest przy użyciu ładunku wybuchowego. - Wyższe koszty zakupu, eksploatacji i serwisowania w porównaniu z prostszymi metodami neutralizacji.

3.1.2.2 Za pomocą zdalnie sterowanego, samobieżnego ładunku wybuchowego jednorazowego użytku

Przykładem takiego samobieżnego ładunku jest pojazd Głuptak przeznaczony do działań związanych z identyfikacją i niszczeniem min morskich. Pojazd Głuptak jest funkcjonalnie zbliżony do zdalnie sterowanej torpedy (Politechnika Gdańska, 2014; Politechnika Gdańska, 2019a). Pojazd służy do przeniesienia ładunku niszczącego do miny morskiej lub innego obiektu przeznaczonego do zniszczenia. Misja przeciwminowa z użyciem ładunku polega na odnalezieniu celu, jego identyfikacji i zniszczeniu przez zainicjowanie (pobudzenie) materiału głowicy bojowej. W warunkach bojowych pojazd Głuptak jest urządzeniem jednorazowego użytku. Po stwierdzeniu, iż osiągnięto wyznaczony cel, następuje uzbrojenie i wyzwolenie ładunku wybuchowego przez zakodowany sygnał z powierzchni. W czasie wybuchu następuje zniszczenie celu oraz samego pojazdu Głuptak. Jeżeli ładunek wybuchowy niszczący nie zostanie odpalony, następuje rozbicie i neutralizacja zapalnika ładunku wybuchowego. Wybuch ładunku kumulacyjnego przenoszony przez pojazd Głuptak powoduje zniszczenie MWiN przez działanie bezpośrednio na materiał wybuchowy lub na zapalnik (Politechnika Gdańska, 2019b). Pojazd Głuptak ma zdolności napędowe umożliwiające działanie w wodzie stojącej i w płynącej. Właściwości manewrowe pojazdu pozwalają na zmianę kursu i głębokości podczas ruchu do przodu i w zawisie. W połączeniu z ruchami głowicy obrotowej, w której zamocowany jest ładunek kumulacyjny, możliwe jest wykrycie i identyfikacja celu, a następnie wycelowanie ładunku w wybrany punkt na powierzchni celu.

W tabeli (Tabela 34) zestawiono kluczowe zalety i wady metody.

Tabela 34. *Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacji za pomocą zdalnie sterowanego, samobieżnego ładunku wybuchowego jednorazowego użytku (źródło: opracowanie własne)*

Zalety	Wady i ograniczenia
- Całkowita eliminacja zagrożenia – detonacja ładunku kumulacyjnego powoduje zniszczenie MWiN przez bezpośrednie oddziaływanie na materiał wybuchowy lub zapalnik. - Brak konieczności bezpośredniego udziału nurków w strefie zagrożenia – pełna zdalna realizacja misji. - Precyzyjne naprowadzanie na cel – ruchoma głowica obrotowa z ładunkiem kumulacyjnym umożliwia wycelowanie w wybrany punkt na powierzchni obiektu. - Możliwość działania zarówno w wodzie stojącej, jak i płynącej dzięki właściwościom napędowym i manewrowym pojazdu. - Zdalne uzbrojenie i wyzwolenie ładunku za pomocą zakodowanego sygnału z powierzchni – ograniczenie ryzyka przypadkowej detonacji. - Możliwość wykrycia, identyfikacji i zniszczenia celu w ramach jednej misji bez zmiany platformy. - Automatyczne rozbrojenie i neutralizacja zapalnika w przypadku nieodpalenia ładunku – ograniczenie ryzyka pozostawienia aktywnego ładunku. - Funkcjonalne podobieństwo do torpedy – możliwość działania w trudno dostępnych rejonach i przy obiektach zalegających na większych głębokościach.	- Jednorazowość użycia – pojazd ulega zniszczeniu podczas każdej misji bojowej, co generuje wysokie koszty eksploatacyjne. - Zależność od warunków środowiskowych: prądów, widzialności, ukształtowania dna oraz głębokości operacyjnej. - Ograniczona możliwość ponownego użycia – w przypadku nieodpalenia ładunku konieczna jest neutralizacja zapalnika i odzyskanie pojazdu. - Wysokie wymagania techniczne i szkoleniowe dla personelu operatorskiego. - Konieczność precyzyjnej identyfikacji i klasyfikacji celu przed inicjacją ładunku – błędna identyfikacja może prowadzić do nieodwracalnych skutków. - Oddziaływanie na środowisko naturalne – detonacja ładunku kumulacyjnego generuje falę uderzeniową i hałas podwodny. - Ograniczony zasięg i czas operacyjny wynikający z pojemności akumulatorów i parametrów napędowych pojazdu. - Wymóg posiadania jednostki bazowej oraz systemów śledzenia i naprowadzania pojazdu na cel.

3.1.3 Wydobycie i neutralizacja

Jeżeli zostały poczynione kroki do przywrócenia ładunku do stanu bezpiecznego lub jeżeli zanurzony ładunek jest potrzebny do dokładnego rozpoznania – może on zostać podniesiony na powierzchnię i wydobyty. Wydobycie zanurzonego ładunku obejmuje trzy fazy: podniesienie, holowanie oraz wyciąganie w kierunku brzegu. Fazy te jednak mogą być połączone w jedną operację. W sytuacji, kiedy fazy te realizowane są oddzielnie – to każda z tych faz wymaga specjalistycznego sprzętu. Uwzględniając takie czynniki, jak: pogoda, prąd, widzialność, warunki denne, należy wykazać szczególną uwagę przy wyborze metod i sprzętu.

3.1.3.1 Podnoszenie

Zanurzony ładunek może być podniesiony przy użyciu zestawu pontonów wydobywczych lub jednostek nawodnych wyposażonych w sprzęt do podnoszenia. Metoda podnoszenia powinna być uzależniona od lokalizacji ładunku, warunków oraz od typu ładunku. Przy niesprzyjających warunkach należy stosować procedury uwzględniające zdalne sterowanie.

3.1.3.1.1 Podnoszenie przy użyciu zestawu pontonów wydobywczych napełnianych powietrzem

Podnoszenie przy użyciu zestawu pontonów wydobywczych napełnianych powietrzem odbywa się za pomocą liny holowniczej (długość liny holowniczej równa się promieniowi bezpiecznemu, skalkulowanemu dla masy i wielkości podnoszonego ładunku). Po oddaleniu się przez nurków i łodzi na bezpieczną odległość pontony powinny zostać wypełnione powietrzem (w sposób zdalny). Po wypłynięciu ładunku na powierzchnię rozpoczyna się holowanie.

3.1.3.1.2 Podnoszenie przy użyciu jednostek nawodnych wyposażonych w sprzęt do podnoszenia

W przypadku braku zagrożenia wybuchem ładunek może zostać podniesiony bezpośrednio na pokład jednostki przy użyciu lin do podnoszenia. Jeżeli podnoszony jest jakiś niezdetonowany ładunek, to wcześniej powinien być on przywrócony do stanu bezpiecznego. Wówczas należy uwzględniać faktyczną masę ładunku pod wodą i na powierzchni.

3.1.3.2 Holowanie

Do holowania pontonów napełnionych powietrzem i podniesionego ładunku można wykorzystać każdą jednostkę, która ma wystarczającą moc do ich ciągnięcia/holowania. Długość liny holowniczej powinna być równa promieniowi bezpiecznemu. Lina ta powinna być doczepiona do przewidzianego w ładunku uchwytu do podnoszenia. Holowanie ładunku powinno odbywać się z małą prędkością.

Miejsce, gdzie będzie realizowane dojście z ładunkiem, powinno być wybrane jeszcze przed rozpoczęciem podnoszenia i holowania. Zaleca się realizować tę procedurę przy wysokiej wodzie, w osłoniętym miejscu, gdzie nie ma żadnych przeszkód podwodnych. Jeżeli ładunek holowany jest za pomocą pontonów wydobywczych, należy wykorzystać zawór samootwierający się. Jeżeli sprzęt z własnym napędem jest niedostępny, to ładunek powinien być ściągany z morza ręcznie przy użyciu odpowiednio przystosowanych lin.

Problemy występujące przy wydobywaniu przedmiotów wybuchowych lub niebezpiecznych nie różnią się od problemów przy wydobywaniu każdego innego przedmiotu niebędącego ładunkiem niebezpiecznym. Jednakże w sytuacji przemieszczania ładunku często zachodzi konieczność pozostawiania przez cały ten czas w bezpiecznej odległości. Kolejnym ograniczeniem może być używanie przedmiotów metalowych amagnetycznych niepowodujących pobudzenia ładunku własnym polem magnetycznym.

3.1.3.3 Ostateczna likwidacja

Jeżeli sytuacja na to pozwala, to niewybuch zawsze powinien być usuwany z rejonu przed jego likwidacją. Jeżeli niewybuch znajduje się na plaży lub w pobliżu rejonów zabudowanych, to zawsze powinna być zarządzona całkowita ewakuacja. Efekt detonacji ładunku wybuchowego pod wodą jest szczególnie złożony. Mają na to wpływ: wielkość ładunku, jego stosunek do głębokości w rejonie, charakter dna morskiego, typ ładunku i jego ułożenie w odniesieniu tak do dna, jak i lustra wody.

3.2 Neutralizacja amunicji chemicznej – skrócona analiza metod

Neutralizacja jest jednym z elementów procesu remediacji. Obecnie wyróżnia się dwa główne kierunki neutralizacji: likwidacja zagrożenia w miejscu zalegania (bez podnoszenia amunicji – *in situ*) oraz wydobywanie amunicji i jej likwidacja (na lądzie lub na pokładzie jednostki pływającej – *ex situ*).

3.2.1 Likwidacja *in situ*

3.2.1.1 Separacja/sarkofagowanie

Separacja realizowana jest za pomocą przykrywania amunicji nieprzepuszczalnym materiałem (np. beton) – sarkofagowanie. Zalewanie betonem obiektu na dnie morza jest skomplikowanym procesem, wymagającym specjalistycznej wiedzy i sprzętu. Najczęściej stosuje się specjalny rodzaj betonu, który jest odporny na działanie wody morskiej, a sam proces odbywa się pod wodą, często z użyciem specjalnych form, aby zapewnić szczelność i trwałość konstrukcji. Przed zalaniem betonem obiekt musi być odpowiednio przygotowany, co może obejmować czyszczenie jego powierzchni, usuwanie luźnych fragmentów, a także montaż specjalnych form lub szalunków, które utrzymają beton we właściwym kształcie. Metoda zastosowana została np. na Morzu Czarnym, gdzie, jak podaje Postanowienie Gabinetu Ministrów Ukrainy nr 1415 z 1996 r. *O zatwierdzeniu Programu poszukiwania i neutralizacji resztek amunicji chemicznej zatopionej w wodach terytorialnych Ukrainy*, punktowo zabetonowano postsowieckie zrzućty amunicji chemicznej. Metoda nie jest powszechnie stosowana, gdyż na skutek prądów morskich, ruchów dna czy działalności człowieka „sarkofagi” mogą zostać naruszone lub ulec erozji. Aby zapewnić szczelność i długotrwałość takiego rozwiązania, trzeba monitorować obiekty, co wiąże się z długotrwałym finansowaniem i wyłączeniem tego obszaru dna z użytkowania. Należy zaznaczyć, że separacja jest rozwiązaniem przejściowym, pozwalającym na tymczasowe zabezpieczenie zagrożenia do czasu całkowitej jego likwidacji. Estymacja kosztów została opisana w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia metody separacji przedstawiono w tabeli (Tabela 35).

Tabela 35. Kluczowe zalety i ograniczenia metody separacja (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Natychmiastowa stabilizacja zagrożenia – ograniczenie ryzyka <i>in situ</i> bez konieczności ryzykownego podnoszenia amunicji na powierzchnię. - Rozwiązanie ratunkowe – optymalna technologia do szybkiego zabezpieczenia pojedynczych, niestabilnych obiektów o krytycznym stanie technicznym. - Efektywność kosztowa materiałów – relatywnie niskie koszty surowców (beton) w porównaniu do budowy zaawansowanych instalacji termicznych. - Izolacja od ekosystemu – stworzenie fizycznej bariery ograniczającej kontakt BST z wodą morską oraz organizmami żywymi. - Niska inwazyjność akustyczna – metoda „cicha”, niegenerująca fali uderzeniowej ani hałasu, co jest kluczowe na obszarach cennych przyrodniczo.	- Charakter tymczasowy – metoda nie eliminuje źródła zagrożenia, a jedynie odsuwa proces ostatecznej likwidacji w czasie. - Konieczność stałego nadzoru – „sarkofagi” wymagają cyklicznego monitoringu strukturalnego, co generuje stałe koszty długoterminowe. - Ograniczenia w użytkowaniu akwenu – trwałe wyłączenie danego obszaru z eksploatacji (zakaz rybołówstwa przydenne, kotwiczenia, prac hydrotechnicznych). - Ryzyko naruszenia integralności „sarkofagu” – podatność na erozję, prądy morskie oraz uszkodzenia mechaniczne (np. trałowanie, kotwiczenie), co może prowadzić do nagłej emisji substancji. - Złożoność wykonawcza – wymaga precyzyjnych prac podwodnych (czyszczenie, montaż form) w warunkach ograniczonej widoczności. - Ograniczenia geofizyczne – trudność w realizacji na stromych stokach, ruchomych piaskach lub na obszarach o dużej dynamice osadów.

3.2.1.2 Detonacja *in situ*

Detonacja *in situ* polega na zniszczeniu amunicji bezpośrednio w miejscu jej zalegania poprzez zainicjowanie kontrolowanego wybuchu ładunku kumulacyjnego lub burzącego. Jest to metoda najprostsza organizacyjnie i najszybsza operacyjnie spośród dostępnych technik neutralizacji. Powszechnie stosuje się ją do likwidacji amunicji konwencjonalnej, w tym w środowisku morskim.

Procedura obejmuje identyfikację obiektu, instalację ładunku wybuchowego (najczęściej przy użyciu pojazdów zdalnie sterowanych ROV lub przez nurków minerów) oraz zdalną inicjację detonacji z bezpiecznej odległości. Metoda nie wymaga wydobycia amunicji ani transportu do instalacji ładunków.

W przypadku amunicji chemicznej zastosowanie detonacji *in situ* wiąże się jednak z istotnym ryzykiem środowiskowym. Wybuch może doprowadzić do niekontrolowanego rozproszenia bojowych środków trujących (BST) w toni wodnej oraz osadach dennych. Z tego względu metoda ta nie jest rekomendowana jako standardowa technologia utylizacji broni chemicznej i powinna być traktowana jako rozwiązanie awaryjne, możliwe do zastosowania wyłącznie w sytuacjach bezpośredniego zagrożenia bezpieczeństwa (np. ryzyko przypadkowej detonacji, kolizja z infrastrukturą krytyczną), gdy inne metody nie mogą zostać wdrożone w wymaganym czasie.

Estymacja kosztów została opisana w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia metody detonacji broni chemicznej *in situ* zostały przedstawione w tabeli (Tabela 36).

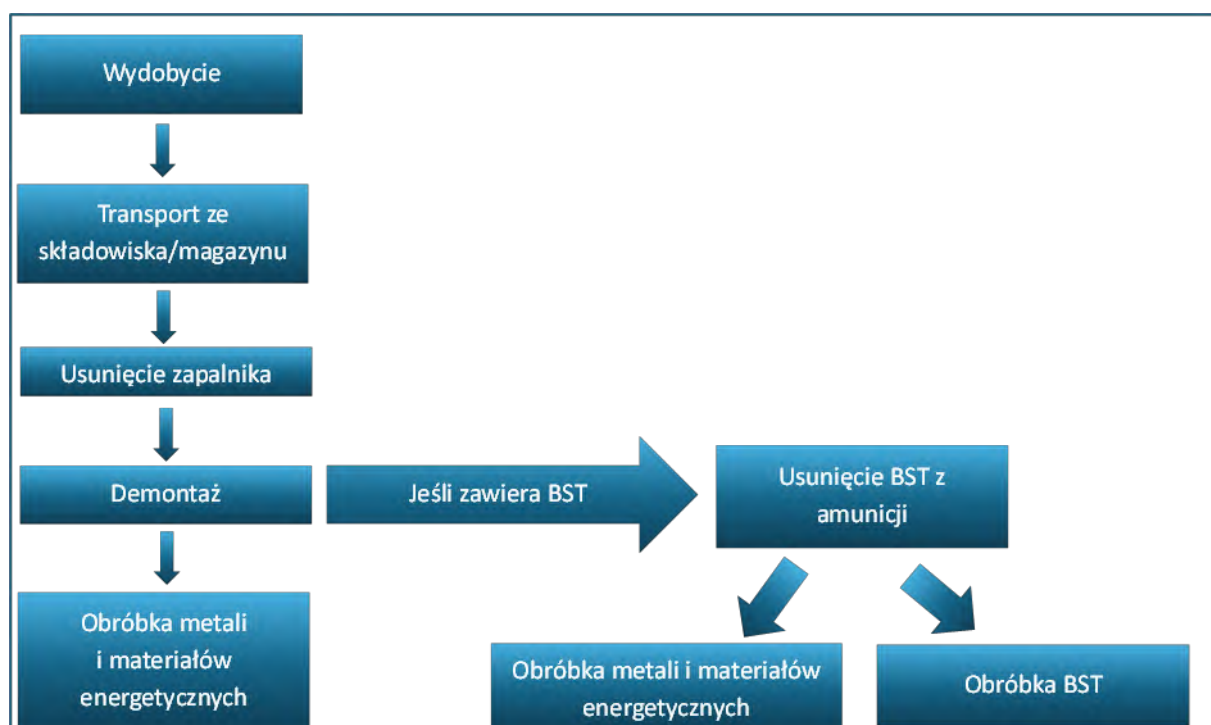
Tabela 36. Kluczowe zalety i ograniczenia metody detonacji broni chemicznej *in situ* (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Prostota technologiczna – niewielkie wymagania sprzętowe i organizacyjne w porównaniu z metodami wydobywczymi lub instalacjami termicznymi. - Krótki czas realizacji – najszybsza metoda neutralizacji pojedynczych obiektów. - Brak konieczności wydobycia amunicji – eliminacja ryzyk logistycznych związanych z transportem materiałów niebezpiecznych. - Ograniczona ekspozycja personelu – możliwość instalacji ładunku i inicjacji wybuchu z użyciem ROV oraz systemów zdalnych. - Metoda sprawdzona w praktyce do niszczenia amunicji konwencjonalnej – technologia o wysokiej dojrzałości operacyjnej w zastosowaniach militarnych i cywilnych.	- Wysokie ryzyko skażeń – możliwość rozproszenia BST w wodzie i osadach dennych w wyniku niepełnej destrukcji chemicznej. - Długoterminowe skutki środowiskowe – potencjalne utrzymujące się skażenie osadów oraz wtórna migracja zanieczyszczeń. - Bioakumulacja – ryzyko kumulacji toksyn w organizmach morskich, co może oddziaływać na łańcuch pokarmowy i sektor rybołówstwa. - Brak gwarancji pełnej neutralizacji – część substancji może przetrwać proces detonacji w postaci nieprzereagowanej. - Silne oddziaływanie fizyczne – generowanie fali uderzeniowej i impulsu akustycznego, potencjalnie szkodliwego dla ssaków morskich, ichtiofauny oraz infrastruktury podmorskiej. - Efekty wtórne detonacji – rozproszenie odłamków i przemieszanie osadów, co może prowadzić do niekontrolowanego rozprzestrzenienia materiału niebezpiecznego.

3.2.2 Instalacje do niszczenia broni chemicznej

W procesie likwidacji broni chemicznej kluczowym etapem poprzedzającym właściwe jej unieszkodliwianie jest bezpieczne wydobycie amunicji z miejsca jej składowania lub zalegania oraz jej transport do specjalnej, certyfikowanej instalacji przeznaczonej do prowadzenia operacji niszczenia. Etapy te muszą być realizowane z zachowaniem rygorystycznych procedur bezpieczeństwa, obejmujących ocenę stanu technicznego obiektów, identyfikację rodzaju środka bojowego oraz minimalizację ryzyka emisji substancji niebezpiecznych do środowiska. Współcześnie buduje się duże stacjonarne instalacje lądowe oraz mniejsze przeznaczone najczęściej do niszczenia mniej toksycznych BST, a także mobilne, modułowe instalacje do niszczenia broni chemicznej, które w krótkim czasie można przetransportować w celu neutralizacji „na miejscu” (eliminacja transportu broni chemicznej). Systemy tego typu można zainstalować na jednostkach pływających, wykluczając całkowicie transport broni chemicznej na ląd. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że na dzień dzisiejszy przepisy prawa nie pozwalają na niszczenie BST bezpośrednio na morzu¹⁴.

Pierwszymi metodami wykorzystywanymi do niszczenia amunicji chemicznej i BST w okresie międzywojennym i tuż po II wojnie światowej były otwarta detonacja lub spalanie, czyli procesy prowadzone w warunkach otwartych, polegające na zniszczeniu amunicji poprzez kontrolowaną detonację lub spalanie. Negatywny wpływ na środowisko spowodował, że obecnie metody te nie są stosowane. Współcześnie stosuje się zamkniętą detonację/spalanie oraz chemiczną neutralizację. Na rysunku (Rysunek 15) przedstawiono ogólny schemat neutralizacji amunicji.



Rysunek 15. Proces utylizacji amunicji (źródło: opracowanie własne na podstawie Şahin & Dereli, 2022)

¹⁴Zniszczenie syryjskiej broni chemicznej przez USA na jednostce M/V Cape Ray zostało przeprowadzone za jednorazową zgodą OPCW, bez możliwości powoływania się na ten przypadek jako precedens.

3.2.2.1 Wydobycie

Wydobycie amunicji z dna morza jest operacją wysokiego ryzyka ze względu na możliwość uszkodzenia korpusu podczas operacji podnoszenia, co może spowodować wyciek substancji niebezpiecznych lub wybuch. W celu zminimalizowania zagrożenia przed wydobyciem konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej inspekcji wizyjnej mającej na celu zidentyfikowanie obiektu, ocenę stanu technicznego oraz, jeśli to możliwe, ustalenie rodzaju substancji niebezpiecznej (z wykorzystaniem detektorów chemicznych na miejscu lub w badaniach laboratoryjnych pobranych w pobliżu obiektu próbek środowiskowych). Po inspekcji niebezpieczne obiekty umieszcza się w szczelnych pojemnikach (tzw. overpackach), wykorzystując pracę nurków lub coraz częściej podwodne koparki, wydobywa na powierzchnię, a następnie transportuje się je do wyznaczonego do składowania miejsca na lądzie. Ostatnim etapem jest neutralizacja w stacjonarnych lub mobilnych instalacjach.

Estymacja kosztów została opisana w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wydobycia broni chemicznej zostały przedstawione w tabeli (Tabela 37).

Tabela 37. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wydobycia broni chemicznej (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Trwałe usunięcie źródła zagrożenia – całkowita eliminacja ryzyka długoterminowych wycieków oraz przypadkowych detonacji w środowisku morskim. - Mitygacja ryzyka wydobywczego i transportowego – zastosowanie technologii „overpack” w miejscu zalegania, minimalizuje prawdopodobieństwo skażenia wtórnego podczas podnoszenia i transportu. - Kontrolowana neutralizacja – możliwość wykorzystania zaawansowanych technologii lądowych zapewniających najwyższy stopień unieszkodliwienia substancji. - Precyzyjna klasyfikacja obiektu – możliwość przeprowadzenia pełnej diagnostyki po wydobyciu (RTG, pobieranie próbek bezpośrednich), co pozwala na optymalny dobór metod neutralizacji. - Redukcja ekspozycji personelu – możliwość automatyzacji i robotyzacji niektórych prac podwodnych.	- Ograniczenia głębokościowe w przypadku konieczności wykorzystania nurków – praca nurków ograniczona standardowo do izobaty 60 m; poniżej tej głębokości konieczność dekompresji znacząco wydłuża cykl operacyjny. - Wysokie koszty i złożoność logistyczna – konieczność angażowania specjalistycznych jednostek pływających i transportowych, zaawansowanego technologicznie sprzętu podwodnego, możliwość pracy jedynie w czasie długich okien pogodowych, wymóg posiadania instalacji do niszczenia amunicji chemicznej. - Wysokie ryzyko operacyjne i środowiskowe – możliwość uszkodzeń mechanicznych, wycieków BST oraz niekontrolowanej detonacji podczas manipulacji obiektem (szczególnie w fazie podejmowania z dna). - Specyfika akwenu – np. widoczność, prądy przydenne oraz miąższość osadów. - Konieczność zaangażowania nurków do wykonywania niektórych prac podwodnych.

3.2.2.2 Wiercenie – *drilling approach*

Metoda *drilling approach* (wiercenie) polega na wywierceniu otworu w obudowie pocisku lub bomby i odessaniu toksycznej zawartości do szczelnego zbiornika. Substancja niebezpieczna następnie jest neutralizowana w lądowych systemach niszczenia materiałów niebezpiecznych. Metoda ta ma zastosowanie w przypadku, gdy znaleziona amunicja jest w „dobrej kondycji fizycznej” (nienaruszony korpus), a znajdujący się w niej BST występuje w postaci płynnej lub półpłynnej. Metoda ta ma zastosowanie jedynie w przypadku amunicji pozbawionej zapalnika. Rozwiązanie jest obarczone

stosunkowo dużym zagrożeniem dla środowiska ze względu na możliwość naruszenia konstrukcji amunicji w innych miejscach wynikające ze błędnej oceny kondycji korpusu amunicji.

Estymacja kosztów została opisane w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wiercenie zostały przedstawione w tabeli (Tabela 38).

Tabela 38. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wiercenie (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Neutralizacja bez wydobycia – proces odbywa się bezpośrednio na dnie morskim, co eliminuje ryzyko związane z podnoszeniem całego obiektu na powierzchnię i jego transportem w stanie niebezpiecznym. • Minimalizacja ryzyka detonacji – brak konieczności manipulowania amunicją (podnoszenia, przesuwania) znacząco zmniejsza prawdopodobieństwo niekontrolowanego wybuchu wynikającego z uszkodzeń mechanicznych. • Wysokie bezpieczeństwo personelu – wykorzystanie zaawansowanych robotów podwodnych i systemów zdalnie sterowanych (ROV) pozwala na prowadzenie operacji bez bezpośredniego narażenia ludzi na kontakt z BST. • Precyzyjne usuwanie substancji – metoda umożliwia kontrolowane i szczelne odessanie toksycznej zawartości bezpośrednio do dedykowanych zbiorników ciśnieniowych. • Brak konieczności rozczalania konstrukcji – neutralizacja zawartości odbywa się bez potrzeby mechanicznego demontażu elementów amunicji, co jest bezpieczniejsze w przypadku starych korpusów. • Dojrzałość technologiczna – rozwiązanie sprawdzone podczas niszczenia amunicji na lądzie. • Adaptacyjność operacyjna – metoda dostosowana do warunków, w których inne metody (np. wydobycie) są niepraktyczne.	• Restrykcyjne wymagania techniczne – metoda możliwa do zastosowania wyłącznie dla amunicji pozbawionej zapalnika i o nienaruszonym korpusie. • Ograniczenia głębokościowe – operacje poniżej izobaty 60 m wymagają zastosowania komór dekompresyjnych, co znacząco wydłuża czas realizacji i zwiększa koszty. • Wysokie wymagania kompetencyjne – konieczność zaangażowania wysoko wyspecjalizowanego personelu do obsługi precyzyjnych systemów wiertniczych i ROV. • Złożoność logistyczna i koszty – wymaga specjalistycznego sprzętu wiertniczego, jednostek z pozycjonowaniem dynamicznym (DP) oraz dedykowanych zbiorników ciśnieniowych. • Ryzyko niepełnej neutralizacji – możliwość pozostawienia resztek substancji w korpusie, co wymaga dodatkowych działań (płukanie, dekontaminacja wtórna). • Ograniczone zastosowanie metody – nie znajduje zastosowania w przypadku stałych BST. • Ryzyko środowiskowe – możliwość niekontrolowanego wycieku w przypadku błędnej oceny stanu technicznego korpusu lub jego uszkodzenia podczas wiercenia.

3.2.2.3 Zamknięta detonacja/spalanie

3.2.2.3.1 Komora detonacji statycznej (*static detonation chamber, SDC*)

Komora detonacji statycznej (*static detonation chamber, SDC*) to ogrzewana do 550°C, opancerzona komora wykorzystywana do niszczenia amunicji konwencjonalnej i chemicznej w procesach wybuchowym i/lub spalania. System jest zdalnie sterowany i wymaga minimalnej ingerencji człowieka. Amunicja w overpacku za pomocą zdalnie sterowanych manipulatorów jest przenoszona do kartonowych pudeł, a następnie transportowana taśmociągami komory detonacyjnej, gdzie jest podgrzewana do temperatury zapłonu amunicji. Po detonacji lub spalaniu powstające gazy kierowane są do systemu wysokowydajnych filtrów, które zatrzymują szkodliwe substancje, czyniąc SDC technologią czystą. Przykładem takiej instalacji jest komora w Münster (Niemcy), gdzie m.in. niszczone broń chemiczną z rejonów Libii i Syrii. Całość instalacji w Münster ma rozmiary dużej fabryki, której

większą część zajmują właśnie filtry. SDC jest systemem opracowanym przez firmę Dynasafe. Do celów utylizacji mniejszej amunicji firma Dynasafe opracowała serię małych systemów SDC (SDC 200 i SDC 500) (DYNASAFE, 2025).

Estymacja kosztów została opisana w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komory detonacji statycznej zostały przedstawione w tabeli (Tabela 39).

Tabela 39. Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komora detonacji statycznej (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Wysoka efektywność neutralizacji – zapewnia niemal całkowitą destrukcję termiczną BST oraz skuteczną utylizację materiałów wybuchowych w kontrolowanym środowisku. - Hermetyczność i bezpieczeństwo – system jest całkowicie gazoszczelny, co pozwala na bezpieczną likwidację substancji agresywnych oraz toksycznych środków przemysłowych. - Zgodność z rygorystycznymi normami emisji – zaawansowany system oczyszczania gazów odlotowych pozwala na spełnienie najsurowszych międzynarodowych norm ochrony środowiska. - Recykling materiałowy – proces zapewnia wielokrotną dekontaminację termiczną pozostałości metalowych (złomu), co umożliwia ich bezpieczne przekazanie do hutnictwa. - Sprawdzona technologia – rozwiązanie sprawdzone w warunkach rzeczywistych przy likwidacji światowych arsenałów broni chemicznej. - Funkcjonujący system w Niemczech – ograniczenie kosztów neutralizacji poprzez wykorzystanie już istniejącej instalacji.	- Zależność od procesów wydobywczych – metoda wymaga uprzedniego podjęcia amunicji z dna morskiego. - Złożona logistyka i koszty operacyjne – wysokie koszty transportu specjalistycznego (ADR/klasa 1) do istniejących centrów utylizacji. - Bardzo wysokie koszty budowy instalacji i obiektów towarzyszących – ponad 100 mln euro. - Wysokie koszty wydobycia i transportu amunicji do istniejących instalacji (jedyna w Europie zbudowana została w Niemczech). - Ograniczona przepustowość i dostępność instalacji – niewielka liczba aktywnych instalacji w Europie może stanowić wąskie gardło w przypadku masowych operacji oczyszczania akwenów.

3.2.2.3.2 Komora kontrolowanej detonacji (*controlled detonation chamber, CDC*)

Komora kontrolowanej detonacji to wysoce specjalistyczne urządzenie inżynierskie zaprojektowane do bezpiecznego niszczenia amunicji, materiałów wybuchowych oraz broni chemicznej. Jest to potężny, szczelny zbiornik (często wykonany z grubościennej stali pancernej), który jest w stanie wytrzymać wielokrotne eksplozje o dużej sile. Głównym celem CDC jest całkowite odizolowanie skutków wybuchu – fali uderzeniowej, odłamków oraz toksycznych gazów – od otoczenia. Amunicja umieszczana jest w komorze i odpalana ładunkiem wybuchowym. Powstające gazy kierowane są do systemu wysokowydajnych filtrów lub dopalane są w plazmie, skąd, po pozytywnej kontroli skuteczności oczyszczenia, wypuszczane są do atmosfery. Pozostające po odfiltrowaniu odpady są utylizowane w standardowych spalarniach utylizacyjnych lub przekazywane do recyklingu. Przykładem takiej instalacji jest japoński DAVINCH™. Jest to obecnie jeden z najbardziej kompaktowych systemów niszczenia amunicji – mieści się zaledwie w kilku kontenerach, co daje dużą jego mobilność.

Estymacja kosztów została zawarta w rozdziale 5. Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komory kontrolowanej detonacji zostały przedstawione w tabeli (Tabela 40).

Tabela 40. Kluczowe zalety i ograniczenia zastosowania komory kontrolowanej detonacji (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Mobilność instalacji – transport w dowolne miejsce. • Bezpieczeństwo – cały proces odbywa się w kontrolowanych warunkach, co minimalizuje ryzyko dla personelu. • Technologia bezpieczna dla środowiska – brak emisji pyłów, metali ciężkich i toksyn do gleby czy atmosfery. • Brak hałasu – grube ściany komory i systemy tłumienia sprawiają, że detonacja jest niemal niesłyszalna na zewnątrz. • Technologia sprawdzona w praktyce – np. w Japonii.	• Konieczność wydobycia amunicji i dostarczenia jej do instalacji. • Wysokie koszty zakupu i eksploatacji instalacji – wykorzystanie do budowy specjalistycznych stopów stali, specjalistyczne systemy filtracji gazów (<i>scrubbery</i>), regularna wymiana drogich wkładów chemicznych i filtrów. • Ograniczona przepustowość i wydajność – żmudny proces załadunku, uszczelnienia, detonacji, oczyszczenia gazów i usunięcia odłamków. • Limity wagowe ładunków – komora ma ściśle określony limit ilości materiału wybuchowego, jaki może zostać zdetonowany w jednym cyklu bez uszkodzenia struktury urządzenia. • Generowanie odpadów wtórnych – dotyczy związków arsenowych • Konieczność utylizacji niektórych odpadów powstałych po neutralizacji BST (np. związki arsenu).

3.2.2.3.3 Neutralizacja chemiczna

Neutralizacja chemiczna to wysokowydajny system neutralizacji przeznaczony do przetwarzania bojowych środków trujących w związki nienadające się do użytku jako broń. Zasada działania polega na wpompowaniu bojowych środków trujących do zbiornika z odkaźnikami, gdzie w wyniku reakcji chemicznej, najczęściej hydrolizy, BST ulegają rozkładowi do substancji nieszkodliwych. Metoda wymaga opróżnienia amunicji (pojemników z BST), ponieważ instalacja przeznaczona jest do niszczenia BST luzem. Przykładem takiego systemu jest amerykański Mobilny System Hydrolizy Polowej (*Field Deployable Hydrolysis*, FDHS) wykorzystany do niszczenia części syryjskiej broni chemicznej na pokładzie jednostki pływającej na morzu. System ten przygotowany jest do destrukcji nowej generacji BST. Wadą tej technologii jest wytwarzanie dużej ilości ścieków, które jako odpady szkodliwe poddawane są dalszej utylizacji. W tarnowskich zakładach azotowych wykorzystano tę technologię do zutylizowania 10 ton pozostawionego w Polsce z czasów wojny adamsytu. Wykorzystano ją także do niszczenia substancji niebezpiecznych w Ukrainie.

Estymacja kosztów tej metody została opisana w rozdziale 5. Kluczowe zalety i wady metody neutralizacji chemicznej zostały przedstawione w tabeli (Tabela 41).

Tabela 41. Kluczowe zalety i ograniczenia metody neutralizacja chemiczna (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Wysoka skuteczność neutralizacji BST – proces chemiczny zapewnia niemal całkowity rozkład BST do produktów o niskiej toksyczności lub całkowicie nieszkodliwych. • Dojrzałość technologiczna – metoda sprawdzona w operacjach międzynarodowych, o	• Konieczność mechanicznego otwarcia amunicji (cięcie) – ryzyko wycieku i niebezpieczeństwo przy manipulacji. • Generowanie odpadów poreakcyjnych – technologia wytwarza znaczne ilości odpadów chemicznych

Zalety	Wady i ograniczenia
udokumentowanej efektywności i bezpieczeństwie. • Mobilność – możliwość montażu na dowolnej platformie. • Możliwość neutralizacji na morzu – eliminacja transportu niebezpiecznych substancji przez gęsto zaludnione obszary lądowe do stacjonarnych zakładów. • Brak emisji gazowych typowych dla spalania – w przeciwieństwie do metod termicznych (np. SDC), neutralizacja chemiczna odbywa się w niższych temperaturach, co minimalizuje ryzyko powstawania toksycznych dioksyn i furanów.	wymagających dalszej utylizacji i logistyki zarządzania odpadami. • Ograniczona uniwersalność – procesy chemiczne są zoptymalizowane pod konkretny typ BST (grupę BST), co ogranicza możliwość przetwarzania mieszanin lub nieznanymi substancji bez wcześniejszej analizy. • Zależność od procesów wydobywczych – metoda wymaga uprzedniego podjęcia amunicji z dna morskiego. • Złożona logistyka i koszty operacyjne – wysokie koszty transportu specjalistycznego (ADR/klasa 1) do istniejących centrów utylizacji. • Konieczność magazynowania dużych ilości odczynników – proces wymaga stałych dostaw agresywnych chemikaliów, co komplikuje logistykę, szczególnie w operacjach morskich. • Problemy z BST w formie stałej – podobnie jak w metodzie wiercenia substancje, które uległy polimeryzacji lub skryształizowaniu (np. stary iperyt siarkowy), są bardzo trudne do wypompowania i rozpuszczenia w standardowych odkażalnikach. • Korozja aparatury – stosowanie silnie agresywnych odczynników chemicznych skraca żywotność instalacji i wymaga stosowania drogich materiałów konstrukcyjnych (np. stali kwasoodpornej, tytanu lub wykładzin teflonowych).

3.2.3 Technologie przyszłości

3.2.3.1 Hydroliza *in situ*

Metoda polega na aplikacji odkażalników chemicznych (np. roztworów alkalicznych lub utleniających) bezpośrednio w strefie zrzutu amunicji chemicznej, z jednoczesnym fizycznym odseparowaniem obszaru skażonego poprzez wykonanie betonowej struktury izolacyjnej (sarkofagu). Proces zakłada inicjację reakcji hydrolizy BST w środowisku morskim, bez konieczności wydobywania obiektów na powierzchnię.

Technologia ta nie została dotychczas wdrożona w warunkach operacyjnych i pozostaje przedmiotem kontrowersji ze względu na brak możliwości kontroli przebiegu reakcji chemicznych w zmiennych warunkach środowiskowych, ryzyko niekontrolowanego rozprzestrzeniania produktów poreakcyjnych w toni wodnej oraz trudności w ocenie skuteczności neutralizacji bez możliwości pobrania próbek z wnętrza sarkofagu.

Metoda wymaga dalszych badań laboratoryjnych i pilotażowych przed ewentualnym zastosowaniem w skali operacyjnej.

3.2.3.2 Polimerowe materiały drukowane na drukarce 3D

Nowatorskie podejście do remediacji środowiska morskiego skażonego arsenopochodnymi BST (np. luizyt, adamsyt, Clark I i II) opiera się na wykorzystaniu selektywnych właściwości sorpcyjnych polimerów funkcjonalizowanych, wytwarzanych metodą druku 3D. Koncepcja zakłada projektowanie

i wytwarzanie struktur polimerowych o wysokiej powierzchni właściwej i porowatości, zdolnych do selektywnej adsorpcji i absorpcji jonów arsenu z wody morskiej.

Metoda może znaleźć zastosowanie w trybie interwencyjnym (doraźne oczyszczanie punktowych wycieków) lub jako element systemów permanentnego monitoringu i remediacji pasywnej.

Technologia znajduje się na wczesnym etapie rozwoju i wymaga przeprowadzenia badań laboratoryjnych oraz testów w warunkach morskich w celu weryfikacji skuteczności, trwałości materiałów oraz opracowania procedur utylizacji nasyconych sorbentów.

3.2.3.3 Zintegrowany system wydobywania i niszczenia amunicji chemicznej na morzu

Podstawą innowacyjnego podejścia do problemu wydobywania i utylizacji jest wysokie zautomatyzowanie procesu (operacje poszukiwania, podnoszenia i utylizacji) i miniaturyzacja.

Idea systemu opiera się na założeniu, że na nawet relatywnie małej jednostce pływającej, o długości rzędu 80–90 m, umiejscowiona jest modułowa konstrukcja składająca się z systemów do poszukiwania, wydobywania, identyfikacji i neutralizacji umieszczonych w kilku połączonych kontenerach. Dzięki takiemu rozwiązaniu prace mogą być prowadzone nieprzerwanie tak długo, jak długa jest autonomiczność jednostki pływającej. Metoda nie była dotychczas wykorzystywana w praktyce.

3.2.4 Rozwiązanie stosowane w wojsku

Siły Zbrojne RP nie posiadają żadnych instalacji do planowego niszczenia broni chemicznej oraz sił i środków do bezpiecznego jej podnoszenia z dna. Natomiast siły zbrojne przygotowane są do interwencyjnej likwidacji zagrożeń w przypadku wykopania, wyrzucenia na brzeg lub wyłowienia obiektów niebezpiecznych militarnego przeznaczenia. Dodatkowo posiadają odpowiednio przeszkolone siły oraz środki do transportu i zabezpieczenia substancji niebezpiecznych. W tym celu Jednostka Wojskowa Skład Komorowo (2. Regionalnej Bazy Logistycznej) utrzymuje specjalnie stworzoną Grupę Przewozu Substancji Niebezpiecznych (GPSN), której zadaniem jest transport substancji niebezpiecznej z miejsca znalezienia do magazynu przeznaczonego do przechowywania substancji niebezpiecznych w Składzie Komorowo lub innego wyznaczonego miejsca. W praktyce cały proces polega na tym, że po zgłoszeniu znaleziska, na miejsce kieruje się GPSN, która wyposażona w specjalistyczne pojazdy oraz pojemniki zabiera znalezisko do jednostki wojskowej i przekazuje je do firm zajmujących się utylizacją substancji niebezpiecznych.

Estymacja kosztów została opisana w rozdziale 5.

4 STUDIA PRZYPADKÓW

W niniejszym podrozdziale dokonano porównawczej analizy studiów przypadków postępowania, w tym neutralizacji, z zatopioną na świecie bronią chemiczną. Analizy dokonano w celu oceny dostępnych strategii, technologii i barier w kontekście wyzwań stojących przed regionem bałtyckim.

Analiza światowych studiów przypadków ukazuje spektrum odmiennych podejść w krajach próbujących rozwiązać problem zatopionej w morzach i oceanach broni chemicznej. Japonia jest liderem w proaktywnych działaniach, co udowodniła przeprowadzona przez ten kraj kompleksowa operacja wydobywania i neutralizacji broni chemicznej zatopionej w Porcie Kanda oraz masowa utylizacja porzuconej broni chemicznej w Chinach (Notman, 2014, Embassy of the People's Republic of China,

2023). Doświadczenia te dowodzą technicznej wykonalności takich operacji, ale jednocześnie podkreślają ich ogromne koszty i złożoność logistyczną. W kontraście Stany Zjednoczone i Kanada oficjalnie stosują politykę „pozostawienia na miejscu”, argumentując, że ryzyko interwencji przewyższa korzyści, co jest podejściem zbliżonym do strategii bałtyckiej (Ross, 2017, HELCOM, 2013, Sanderson i in., 2010). Z kolei Belgia reprezentuje model reaktywny, prowadząc ciągłe operacje usuwania i niszczenia powojennej amunicji, która jest przypadkowo odkrywana na lądzie i na morzu (Coe, 2023; Ross, 2017).

4.1 Studium przypadku nr 1. Japonia – Port Kanda (wydobycie i neutralizacja)

Projekt w Porcie Kanda stanowił odpowiedź na długotrwałe zagrożenie ekologiczne i zdrowotne wynikające z porzucenia ogromnych ilości amunicji chemicznej po II wojnie światowej (Asahina, 2009). Operacja została zaplanowana jako kompleksowe przedsięwzięcie, obejmujące wszystkie etapy od identyfikacji zagrożenia po ostateczną jego eliminację. Pierwszym krokiem była faza badania terenu, w której wykorzystano zaawansowane techniki geofizyczne (Asahina, 2009). Sonary i profilomierze pozwoliły na stworzenie szczegółowych map dna morskiego, identyfikując obiekty mogące być amunicją. Następnie pojazdy ROV wyposażone w kamery o wysokiej rozdzielczości, systemy LiDAR (*Light Detection and Ranging*) do tworzenia modeli 3D oraz czujniki chemiczne weryfikowały te znaleziska, potwierdzając ich charakter oraz oceniły stan techniczny amunicji (Asahina, 2009).

Faza wydobywcza była najbardziej krytycznym elementem operacji. Aby zapobiec przypadkowemu uszkodzeniu skorodowanych pocisków i niekontrolowanemu uwolnieniu substancji niebezpiecznych, zastosowano specjalnie zaprojektowane chwytaki, które były w stanie delikatnie podnosić obiekty z dna. Niektóre modele posiadały dodatkowo systemy opłukujące odkażalnikiem pocisk jeszcze przed jego podniesieniem, co jeszcze bardziej minimalizowało ryzyko skażenia (Asahina, 2009). Każdy wydobyty obiekt był natychmiast zabezpieczany w szczelnych, podwójnych kontenerach transportowych. Cały proces był monitorowany w czasie rzeczywistym przez czujniki chemiczne rozmieszczone na jednostkach pływających i w wodzie (Asahina, 2009). Po przetransportowaniu na ląd amunicja trafiała do dedykowanej instalacji neutralizacyjnej.

Stosowaną metodą neutralizacji była dwuetapowa hydroliza alkaliczna, proces chemiczny, w którym bojowy środek trujący był rozkładany na mniej toksyczne, rozpuszczalne w wodzie związki (Asahina, 2009). Proces prowadzono w zamkniętych reaktorach w podwyższonej temperaturze, co zapewniało wysoką wydajność i bezpieczeństwo. Produktem ubocznym był głównie tiosiarczan sodu, substancja nietoksyczna dla środowiska morskiego (Asahina, 2009). Skuteczność neutralizacji była na bieżąco weryfikowana za pomocą laboratoryjnych metod analitycznych.

Badania środowiskowe przeprowadzone po zakończeniu operacji wykazały znaczącą poprawę jakości osadów dennych oraz brak negatywnego wpływu na lokalną faunę i florę (Asahina, 2009). W tabeli (Tabela 42) zaprezentowano wybrane parametry istotne dla neutralizacji amunicji chemicznej w Porcie Kanda.

Tabela 42. Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia zatopionej w broni chemicznej w Porcie Kanda w Japonii (źródło: (Asahina, 2009))

Kategoria	Opis
Lokalizacja	Port Kanda, Prefektura Fukuoka, Japonia.

Kategoria	Opis
Geneza zatopienia	Amunicja chemiczna (głównie pociski z iperytem siarkowym) porzucona przez Cesarską Armię Japońską pod koniec II wojny światowej. Szacuje się, że w rejonie porzucono ok. 50 000 ton amunicji.
Rodzaj obiektu	Zatopione pociski artyleryjskie, moździerzowe i inne pojemniki z amunicją chemiczną, w różnym stanie korozji.
BST	Głównie iperyt siarkowy, ale także inne środki, w tym zapalające.
Metody detekcji	Zintegrowany system badań geofizycznych obejmujący sonar boczny (rozdzielczość 10 cm), profilomierz dna (penetracja do 3 m) oraz zdalnie sterowane pojazdy podwodne (ROV) wyposażone w system LiDAR i czujniki chemiczne.
Metoda interwencji	Zastosowano specjalistyczne czerpaki i chwytaki do wydobywania amunicji wyposażone w systemy z płynem odkażającym. Wydobyte obiekty umieszczano w podwójnych, stalowych kontenerach i transportowano do lądowej instalacji. Neutralizacja odbywała się poprzez dwuetapową hydrolizę z użyciem katalizatorów alkalicznych w temperaturze 120°C.
Zarządzanie ryzykiem	System monitoringu chemicznego w czasie rzeczywistym podczas wszystkich faz operacji (detekcja, wydobywanie, transport). Przechowywanie na powierzchni w systemie wentylacji o obiegu zamkniętym. Proces neutralizacji zaprojektowano jako bezemisyjny.
Wyniki	W ramach projektu oczyszczono obszar 650 hektarów, wydobywając i niszcząc ponad 2700 sztuk amunicji chemicznej. Po operacji stwierdzono redukcję toksyczności osadów dennych o 89%. Wydajność procesu neutralizacji osiągnęła 99,998%.
Wnioski	Projekt w Porcie Kanda dowiódł, że planowe, systematyczne wydobywanie i neutralizacja zatopionej amunicji chemicznej są technicznie wykonalne i mogą być przeprowadzone w sposób bezpieczny dla środowiska. Stworzono powtarzalny protokół działania.

4.2 Studium przypadku nr 2. Japonia – porzucona broń chemiczna w Chinach (masowa neutralizacja lądowa – zakopana i zatopiona w rzekach i jeziorach)

Japońska armia, wycofując się w 1945 r., masowo pozbywała się broni chemicznej, zakopując ją w ziemi lub topiąc w rzekach i jeziorach. Na mocy Konwencji o zakazie broni chemicznej (CWC), Japonia jako państwo porzucające została zobowiązana do sfinansowania i przeprowadzenia całkowitej neutralizacji tej amunicji (Notman, 2014, Embassy of the People's Republic of China, 2023). Operację rozpoczęto formalnie pod koniec lat 90. ubiegłego wieku.

Ze względu na rozproszenie składowisk opracowano system oparty na mobilnych instalacjach niszczących, które mogły być demontowane, transportowane w pobliże odkrytego składowiska i ponownie montowane, co minimalizowało ryzyko związane z transportem niestabilnej amunicji na duże odległości.

Wewnątrz mobilnej jednostki pociski były niszczone w specjalnych komorach detonacyjnych, gdzie kontrolowana eksplozja rozkładała zarówno ładunek wybuchowy, jak i chemiczny środek bojowy w wysokiej temperaturze (Notman, 2014).

Dla największego znanego składowiska w Haerbaling, gdzie w jednym miejscu zakopano ponad 330 000 sztuk amunicji, zbudowano potężną, stacjonarną instalację z piecem detonacyjnym pracującym w temperaturze 500°C (Notman, 2014). Pozwalał on na ciągłe, masowe niszczenie amunicji, znacznie zwiększając przepustowość całego procesu. Cała operacja, od identyfikacji i wydobywania, przez transport, aż po ostateczną neutralizację, odbywała się pod międzynarodowym nadzorem OPCW (Notman, 2014).

W tabeli (Tabela 43) zaprezentowano wybrane parametry istotne dla neutralizacji amunicji chemicznej w Chinach.

Tabela 43. Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia broni chemicznej w Chinach (źródło: Notman, 2014, Embassy of the People's Republic of China, 2023)

Kategoria	Opis
Lokalizacja	Ponad 90 zidentyfikowanych lokalizacji w 18 prowincjach Chin. Największe składowisko w Haerbaling (Prowincja Jilin).
Geneza	Broń chemiczna porzucona (zakopana lub zatopiona w wodach śródlądowych) przez wycofujące się wojska japońskie pod koniec II wojny światowej.
Rodzaj obiektu	Szeroki wachlarz amunicji: pociski artyleryjskie i moździerzowe, bomby lotnicze, granaty, pojemniki i beczki z płynnymi BST. Wiele obiektów w złym stanie technicznym, skorodowanych i nieszczelnych.
BST	Iperyt siarkowy, luizyt, fosgen, a także mieszaniny tych środków.
Metody detekcji	Analiza danych historycznych, informacje od ludności cywilnej, odkrycia podczas prac budowlanych. Weryfikacja za pomocą badań geofizycznych, a następnie prac ekshumacyjnych. Identyfikacja wizualna i rentgenowska, w razie wycieków analiza chemiczna.
Metoda interwencji	Wydobycie (wykopanie), zabezpieczenie i transport do tymczasowych magazynów. Neutralizacja przy użyciu dwóch głównych technologii: mobilnych instalacji niszczących (dla mniejszych składowisk) oraz stacjonarnej instalacji w Haerbaling (dla masowej utylizacji).
Zarządzanie ryzykiem	Operacja prowadzona w ramach dwustronnej umowy między Japonią a Chinami, pod nadzorem Organizacji ds. Zakazu Broni Chemicznej (OPCW). Japonia ponosi pełną odpowiedzialność finansową i techniczną. Ścisłe procedury bezpieczeństwa podczas wydobycia, transportu i niszczenia.
Wyniki	Do 2014 r. zniszczono ponad 50 000 sztuk amunicji. W samym Haerbaling zidentyfikowano ponad 330 000 sztuk. Operacja jest w toku, z przewidywanym terminem zakończenia przesuniętym na 2027 r. Koszt projektu już w 2014 r. przekroczył 1 miliard euro.
Wnioski	Projekt demonstruje wykonalność masowej neutralizacji amunicji chemicznej na dużą skalę, ale jednocześnie ukazuje ogromne wyzwania logistyczne, techniczne, finansowe i polityczne. Podkreśla znaczenie współpracy międzynarodowej i długoterminowego zaangażowania.

4.3 Studium przypadku nr 3. Stany Zjednoczone – Johnston Atoll (JACADS) (przemysłowa neutralizacja zapasów lądowych)

Johnston Atoll Chemical Agent Disposal System (JACADS) był pierwszą na świecie pełnoskalową instalacją do niszczenia amunicji chemicznej. Operacja dotyczyła zapasów zgromadzonych na lądzie, a nie amunicji zatopionej, jednak przypadek ten przywoływany jest, aby zaprezentować studium przypadku technologii neutralizacji na skalę przemysłową. Wybór odległego Atolu Johnston jako lokalizacji był podyktowany względami bezpieczeństwa – ewentualny wypadek nie zagrażałby bezpośrednio skupiskom ludzkim.

Podstawą operacji była zaawansowana technologicznie linia demontażu i spalania. Cały proces był w maksymalnym stopniu zrobotyzowany, aby ograniczyć ekspozycję personelu na zagrożenie. Roboty precyzyjnie rozcinały pociski i rakiety, oddzialały zapalniki i materiały wybuchowe, a następnie opróżniały pojemniki z płynnych środków bojowych. Środki chemiczne były następnie pompowane do specjalnego pieca, gdzie w ekstremalnie wysokiej temperaturze ulegały całkowitemu zniszczeniu. Pozostałe metalowe części amunicji trafiały do innego pieca, gdzie były odkażane termicznie, a gazy

odlotowe z całego systemu przechodziły przez odpowiednio dobrany system filtrów, aby zapewnić, że do atmosfery nie dostaną się żadne niebezpieczne substancje. Mimo ogólnie zaawansowanej technologii i automatyzacji nie obyło się bez incydentów. W trakcie 10-letniej operacji odnotowano kilka zdarzeń, w tym niewielki wyciek sarinu wewnątrz budynku demilitaryzacji w 1993 r. oraz kilka mniejszych eksplozji. Incydenty te, choć opanowane bez ofiar i skażenia zewnętrznego, podkreślały nieodłączne ryzyko związane z manipulowaniem przy tego typu materiałach.

Mimo iż projekt JACADS udowodnił, że masowa, termiczna utylizacja broni chemicznej jest możliwa, a wykorzystanie automatyzacji i robotyzacji minimalizuje ryzyko dla personelu oraz zwiększa jej skuteczność, publiczny sprzeciw wobec metody spalania, postrzeganej jako potencjalnie szkodliwa dla środowiska (emisja dioksyn), doprowadził do tego, że w kolejnych programach niszczenia zapasów na terytorium kontynentalnym USA (w Pueblo i Blue Grass) sięgnięto po alternatywne technologie, głównie neutralizację chemiczną (PEO ACW, 2025). JACADS jest nie tylko przykładem sukcesu technologicznego, ale także punktem zwrotnym, który wpłynął na ewolucję metod neutralizacji w kierunku rozwiązań bardziej akceptowalnych społecznie. W tabeli (Tabela 44) zaprezentowano wybrane parametry istotne dla neutralizacji amunicji chemicznej w USA.

Tabela 44. Wybrane parametry charakteryzujące operację niszczenia broni chemicznej w USA (źródło: Global Security, 2011; Maclellan, 2005)

Kategoria	Opis
Lokalizacja	Johnston Atoll, niezamieszkany atol na Pacyfiku.
Geneza	Realizacja zobowiązań USA do zniszczenia swoich zapasów broni chemicznej. Na atolu skonsolidowano broń chemiczną ewakuowaną z Okinawy (Japonia) w 1971 r. (Operacja Red Hat) oraz z Niemiec w 1990 r. (Operacja Steel Box).
Rodzaj obiektu	Zgromadzone zapasy broni chemicznej USA: rakiety, pociski artyleryjskie, bomby, miny lądowe, pojemniki tonowe.
BST	Sarin, VX, iperyt siarkowy.
Metoda interwencji	Wysokotemperaturowe spalanie. Proces był wysoce zautomatyzowany: roboty demontowały amunicję, oddzielając materiał wybuchowy, środek chemiczny i metalowe części. Płynne BST były spalane w piecu ciekłym, a części metalowe odkażane termicznie w piecu do metali.
Zarządzanie ryzykiem	Lokalizacja na odległym, niezamieszkanym atolu minimalizowała ryzyko dla ludności cywilnej. Przeprowadzono rygorystyczne testy operacyjne przed rozpoczęciem pełnoskalowej działalności.
Wyniki	W latach 1990–2000 w instalacji zniszczono ponad 400 000 sztuk amunicji, co stanowiło ponad 2000 ton środków GB, VX i HD (ok. 6,6% całego arsenału USA). Instalacja zdemontowana w 2003 r.
Wnioski	JACADS udowodnił, że przemysłowe, wysokowydajne niszczenie broni chemicznej za pomocą spalania jest technicznie możliwe i skuteczne. Doświadczenia z JACADS stały się podstawą dla kolejnych programów demilitaryzacji w USA.

4.4 Studium przypadku nr 4. Kanada – przegląd i monitoring (strategia oceny ryzyka)

Podejście Kanady do problemu zatopionej amunicji chemicznej jest reprezentatywne dla wielu krajów zachodnich. Wobec braku bezpośredniego, katastrofalnego zagrożenia dominuje strategia oparta na ocenie ryzyka, monitoringu i polityce nieinterwencji, czyli „pozostawienia na miejscu”. Podobną politykę reprezentują także Stany Zjednoczone.

Argumentacja jest spójna: amunicja spoczywa na dnie od dawna, często pokryta osadami i wtopiona w ekosystem, a próba jej ruszenia może spowodować większe szkody niż pozostawienie jej do powolnej degradacji. W praktyce kanadyjska strategia polega na trzech filarach: badania, monitoring i ocena ryzyka.

Departament Obrony Narodowej prowadzi i zleca badania mające na celu zlokalizowanie i scharakteryzowanie historycznych składowisk (*ISSUES – OCEAN DRILLING: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns...*, 2002). Wykorzystuje się do tego dane archiwalne, choć często są one niekompletne, oraz nowoczesne technologie geofizyczne. Prowadzone są również programy monitoringu środowiskowego, mające na celu wykrycie ewentualnych wycieków i oceny ich wpływu na ekosystemy morskie.

Kanadyjski przypadek jest doskonałą ilustracją strategii „oceny i monitoringu”. Główny wniosek jest taki, że w sytuacji dużej niepewności co do lokalizacji i stanu amunicji, a także przy ogromnych kosztach potencjalnych operacji wydobywczych polityka nieinterwencji jest postrzegana jako najbardziej racjonalne i najmniej ryzykowne rozwiązanie w krótkim i średnim terminie (*ISSUES – OCEAN DRILLING: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns...*, 2002, Rubiano, 2021). Jest to jednak strategia pasywna.

Szczególny nacisk kładzie się na ocenę ryzyka w kontekście planowanych nowych inwestycji, takich jak budowa rurociągów, farm wiatrowych czy, co budzi największe kontrowersje, poszukiwania i wydobywanie ropy i gazu. Istnieją poważne obawy, że testy sejsmiczne wykorzystywane do poszukiwania złóż mogą uszkodzić skorodowaną amunicję i doprowadzić do katastrofy ekologicznej. Obawy te stopniowo stają się głównym przyczynkiem do zmiany tej polityki. Potrzeba bezpiecznego prowadzenia działalności gospodarczej na morzu może zmusić rząd do podjęcia bardziej aktywnych działań – od dokładniejszego mapowania dna morskiego po, w wybranych przypadkach, operacje oczyszczające (*ISSUES – OCEAN DRILLING: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns...*, 2002). W tabeli (Tabela 45) zaprezentowano wybrane parametry istotne dla polityki w Kanadzie.

Tabela 45. Wybrane parametry charakteryzujące podejście do niszczenia broni chemicznej w Kanadzie
(źródło Ross, 2017, *ISSUES – OCEAN DRILLING: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns...*, 2002, Rubiano, 2021)

Kategoria	Opis
Lokalizacja	Liczne składowiska u wybrzeży Atlantyku, głównie wokół Nowej Szkocji (np. Sydney Bight), Nowej Fundlandii i Nowego Brunswiku oraz na Pacyfiku.
Geneza	Masowe zatapianie nadwyżek amunicji (kanadyjskiej i amerykańskiej) po II wojnie światowej. Szacuje się, że w 1945 r. zatapiano ok. 500 ton amunicji tygodniowo.
Rodzaj obiektu	Różnorodne typy amunicji konwencjonalnej i chemicznej. Wiele składowisk jest niezmapowanych lub ich zawartość jest nieznaną.
BST	Udokumentowana obecność iperytu siarkowego. Istnieją podejrzenia co do obecności innych środków.
Metody detekcji	Analiza danych archiwalnych (często niekompletnych), relacje rybaków. Prowadzone są badania i przeglądy z użyciem sonarów i magnetometrów. W Zatoce Bedford (Halifax) testowano nowe technologie, np. czujniki chemiczne do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych w wodzie.

Kategoria	Opis
Metoda interwencji	Brak planowych, wielkoskalowych operacji wydobywczych i neutralizacyjnych. Dominującą polityką jest „pozostawienie na miejscu”, połączona z oceną ryzyka i monitoringiem. Interwencje są rozważane głównie w przypadku bezpośredniego zagrożenia dla ludzi lub infrastruktury.
Zarządzanie ryzykiem	Główną odpowiedzialność ponosi Departament Obrony Narodowej. Ryzyko jest oceniane w kontekście nowych działań na morzu, np. planowanych odwiertów naftowych i gazowych (obawy o wpływ testów sejsmicznych na zatopioną amunicję).
Wyniki	Zidentyfikowano istnienie licznych składowisk, ale ich dokładny stan i wpływ na środowisko są przedmiotem ciągłych badań. Polityka nieinterwencji jest utrzymywana.
Wnioski	Strategia Kanady ilustruje podejście oparte na ostrożności, gdzie postrzegane ryzyko i koszt aktywnej remediacji są uznawane za wyższe niż korzyści. Jest to polityka reaktywna, a nie proaktywna, która może ulec zmianie pod wpływem nowych odkryć lub presji związanej z rozwojem gospodarczym na morzu.

4.5 Studium przypadku nr 5. Belgia – ciągłe wydobywanie i neutralizacja

Belgijskie podejście do problemu zatopionej i porzuconej na lądzie amunicji chemicznej jest unikalne w skali Europy. Belgia od wielu lat prowadzi ciągłą, reaktywną operację wydobywania i neutralizacji zarówno broni chemicznej, jak i konwencjonalnej. Niezależnie od tego czy broń jest wykopana, czy przypadkowo wyłowiona przez rybaków, procedura jest taka sama. Na miejsce wzywane są wyspecjalizowane jednostki saperskie armii belgijskiej (EOD), które zabezpieczają znalezisko. Ze względu na niemożność zewnętrznej identyfikacji zawartości, każdy pocisk jest traktowany jako potencjalnie chemiczny i wysoce niebezpieczny (Coe, 2023). Zabezpieczona amunicja jest następnie transportowana do centralnego, wyspecjalizowanego zakładu niszczenia w Poelkapelle. Obiekt ten działa od końca lat 90. ubiegłego wieku. Każdy dostarczony pocisk jest prześwietlany promieniami rentgenowskimi w celu precyzyjnego określenia jego zawartości, a następnie w kontrolowanych warunkach jest rozmontowywany. Substancje niebezpieczne są neutralizowane w procesach chemicznych. Rocznie zakład w Poelkapelle przetwarza około 250 ton amunicji, z czego 5–10% stanowi broń chemiczna (MIA PROJECTS, 2013; Hart, 2008). Do tej pory zniszczono tam dziesiątki tysięcy pocisków chemicznych (MIA PROJECTS, 2013; Hart, 2008).

Władze belgijskie zdają sobie sprawę, że pełne oczyszczenie składowiska Paardenmarkt, ze względu na jego skalę, złożoność techniczną i ogromne koszty, przekracza możliwości jednego kraju i wymagałoby wsparcia międzynarodowego. Mimo to ciągła gotowość do interwencji i posiadanie infrastruktury do neutralizacji stanowi pragmatyczną i odpowiedzialną odpowiedź na bezpośrednie zagrożenie dla bezpieczeństwa publicznego wynikające z zatopionych lub zakopanych niebezpiecznych obiektów powojennych. W tabeli (Tabela 46) zaprezentowano wybrane parametry istotne dla polityki niszczenia broni chemicznej w Belgii.

Tabela 46. Wybrane parametry charakteryzujące podejście do niszczenia broni chemicznej w Belgii (źródło: HELCOM, 2013; Zanders, 1997)

Kategoria	Opis
Lokalizacja	Wybrzeże Belgii, w tym składowisko Paardenmarkt koło Zeebrugge, oraz tereny rolne Zachodniej Flandrii.
Typ interwencji	Reaktywne, ciągłe wydobywanie i neutralizacja na lądzie.

Kategoria	Opis
Metoda interwencji	Służby saperskie (EOD) armii belgijskiej, specjalistyczny zakład niszczenia broni w Poelkapelle.
Typ amunicji	Głównie amunicja chemiczna z I wojny światowej (iperyt siarkowy, fosgen) oraz niewybuchy konwencjonalne (UXO).
Główny cel	Zapewnienie bezpieczeństwa publicznego poprzez usuwanie przypadkowo znalezionej amunicji na lądzie i na morzu.
Zastosowana technologia	Identyfikacja rentgenowska, ręczne wydobywanie, specjalistyczny proces niszczenia w zakładzie w Poelkapelle.
Źródło finansowania	Środki krajowe (rząd i wojsko Belgii).
Kluczowy rezultat	Systematyczne niszczenie około 250 ton niewybuchów rocznie, w tym amunicji chemicznej; zarządzanie trwałym dziedzictwem historycznym.

4.6 Studium przypadku nr 6. Morze Adriatyckie – brak interwencji

Dominująca strategia w tym regionie opiera się na świadomej decyzji o niepodejmowaniu interwencji fizycznej, co stanowi wyraźny kontrast dla reaktywnego modelu belgijskiego i naukowo-badawczego podejścia paneuropejskiego.

Główne przyczyny tej polityki są dwojakie. Po pierwsze, panuje przekonanie, że ryzyko związane z próbami wydobywania amunicji znacznie przewyższa potencjalne korzyści (Zanders, 1997, Greenberg i in., 2015). Poruszenie skorodowanych i niestabilnych pojemników, które spoczywają na dnie od dziesięcioleci, mogłoby doprowadzić do nagłego, niekontrolowanego uwolnienia dużych ilości niebezpiecznych substancji, powodując znacznie większe skażenie środowiska niż powolne, chroniczne wycieki (Zanders, 1997; Greenberg i in., 2015). Istnieje również poważne ryzyko przypadkowej detonacji, co stanowiłoby bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia ekip ratowniczych oraz dla lokalnych ekosystemów.

Po drugie, preferowaną opcją jest pozostawienie amunicji w spokoju, aby uniknąć naruszenia delikatnej równowagi, która wytworzyła się na dnie morskim. Eksperci argumentują, że próby usunięcia mogłyby rozproszyć zanieczyszczenia na znacznie szerszym obszarze, pogarszając sytuację.

Zamiast tego w państwach Morza Adriatyckiego wysiłki koncentrują się na monitoringu i badaniach naukowych, których celem jest ocena szkód środowiskowych, lepsze poznanie ilości i typów zatopionej amunicji oraz identyfikacja najlepszych dostępnych technologii, ale bez natychmiastowego zamiaru ich wdrażania (Amato i in., 2006).

Badania naukowe potwierdziły obecność produktów degradacji bojowych środków trujących i ich negatywny wpływ na organizmy morskie, w tym bioakumulację arsenu w lokalnych populacjach ryb (Zanders, 1997). Mimo tego oraz pomimo udokumentowanych incydentów, w których w latach 1946–1997 rannych zostało ponad 200 rybaków, konsensus ekspertów pozostaje niezmienny: w obecnych warunkach technicznych i przy aktualnym stanie wiedzy najbezpieczniejszym rozwiązaniem dla Morza Adriatyckiego jest pozostawienie zatopionej amunicji na dnie (Zanders, 1997)].

4.7 Morze Bałtyckie

Do dnia dzisiejszego nie przeprowadzono ani nie zaplanowano żadnych kompleksowych, wielkoskalowych operacji mających na celu wydobywanie i neutralizację całości lub znacznej części broni

chemicznej zatopionej w Morzu Bałtyckim¹⁵. Dominującą strategią, popartą konsensusem naukowym i politycznym, jest świadome podejście określane jako „pozostawić na miejscu i monitorować” (HELCOM, 2013).

Główne bariery dla operacji wydobywczych na dużą skalę mają charakter techniczny, polityczny i finansowy. Technicznie wydobywanie skorodowanej, niestabilnej amunicji z dużych głębokości jest niezwykle ryzykowne i skomplikowane. Politycznie problem ma charakter transgraniczny, co wymaga skomplikowanej koordynacji międzynarodowej i uzgodnienia odpowiedzialności, co jest trudne do osiągnięcia. Finansowo koszty takich operacji byłyby ponadprzeciętnie wysokie, a w obliczu wielu innych pilnych potrzeb środowiskowych rządy niechętnie przeznaczają na ten cel ogromne środki, zwłaszcza gdy bezpośrednie zagrożenie nie jest postrzegane jako krytyczne. Te bariery sprawiają, że podejście oparte na ocenie ryzyka jest postrzegane jako bardziej realistyczne i opłacalne.

5 SZACOWANIE KOSZTÓW

5.1 Analiza danych historycznych

5.1.1 Analiza kosztów neutralizacji amunicji chemicznej i BST

5.1.1.1 Czynniki kształtujące koszty

Na wysokość kosztów usuwania i niszczenia amunicji wpływa szereg czynników technicznych, środowiskowych i regulacyjnych. Do najważniejszych należą rodzaj amunicji, stan techniczny, głębokość zalegania, warunki lokalizacyjne, a także czynniki związane z organizacją operacji i uwarunkowaniami administracyjnymi.

Lokalizacja i głębokość zalegania

Głębokość wpływa bezpośrednio na dobór technologii neutralizacji. W płytkich wodach możliwe są działania z udziałem nurków, co znacząco obniża koszty. Na większych głębokościach konieczne jest stosowanie ROV i systemów DP1/DP2, co podnosi koszty nawet kilkukrotnie. Trudne warunki hydrodynamiczne i ograniczona widoczność dodatkowo wydłużają czas operacji.

Stan techniczny

Kondycja techniczna amunicji ma wpływ w zależności od wybranej metody niszczenia. Jeśli amunicja będzie niszczona *in situ*, wpływ jest mały, praktycznie żaden, natomiast w przypadku konieczności podniesienia amunicji i dostarczenia jej do instalacji stan techniczny deprecjonuje wszystkie działania podejmowane na dnie, co generuje dodatkowy nakład prac podwodnych i zwiększa ryzyko operacyjne.

Warunki meteorologiczne i hydrodynamiczne

Wysokość falowania, prądy i sezonowe zmiany pogody mogą powodować okresowe wstrzymanie prac, co wydłuża harmonogram operacji i zwiększa zapotrzebowanie na jednostki pływające oraz personel.

¹⁵Największą dotychczas na Bałtyku operacją wydobywania zatopionej broni chemicznej była przeprowadzona latach 1959–1960, w cieśninie Mały Belt operacja wydobywania dwóch barek wypełnionych materiałami wybuchowymi, amunicją konwencjonalną oraz chemiczną wypełnioną między innymi tabunem. Łącznie odzyskano wówczas 69 075 pocisków o łącznej masie około 1250 ton (59 056 – 105 mm i 10 019 – 150 mm). Amunicję następnie zalano betonem i w formie betonowych bloków zatopiono ponownie w rejonie Zatoki Biskajskiej.

Dostępność portów i infrastruktury logistycznej

Znaczenie ma odległość od portu mobilizacji, dostępność jednostek o odpowiedniej klasie oraz możliwość zapewnienia zaplecza technicznego na lądzie. Ograniczona infrastruktura lub konieczność mobilizacji jednostek z odległych portów mogą istotnie podnieść koszty operacji.

Uwarunkowania środowiskowe i sezonowe

Operacje prowadzone na obszarach cennych przyrodniczo mogą podlegać sezonowym ograniczeniom wynikającym z okresów ochronnych (migracje ptaków, tarło ryb). Przerwy operacyjne wydłużają harmonogram i zwiększają koszty mobilizacji oraz czarteru jednostek.

Regulacje, pozwolenia i wymogi administracyjne

Uwarunkowania regulacyjne i administracyjne wpływają na przygotowanie operacji, obejmując uzgodnienia środowiskowe, inspekcje oraz kwestie ubezpieczeniowe. W regionach o rozbudowanych procedurach (jak Europa) proces ten może wydłużać harmonogram prac i pośrednio zwiększać koszty.

Koszty różnią się także regionalnie. W Europie, w tym na Morzu Bałtyckim, wysokie stawki pracy i rygorystyczne regulacje podnoszą cenę operacji nawet o 20–30% powyżej średniej światowej.

Zróżnicowanie regionalne domyka katalog czynników wpływających na wysokość kosztów. W dalszej części przedstawiono, w jaki sposób poszczególne z nich przekładają się na konkretne kategorie kosztowe w operacjach usuwania lub niszczenia amunicji.

5.1.1.2 Analiza kosztów w oparciu o cenniki firm komercyjnych

Szacowanie kosztów neutralizacji amunicji jest procesem skomplikowanym, ponieważ obejmuje zarówno bezpośrednie działania techniczne, jak i szerokie otoczenie regulacyjne oraz środowiskowe. W tabelach kosztów (Tabela 47–Tabela 53) przedstawiono szacunkowe koszty przygotowane w oparciu o nieoficjalne dane wykonania usług pozyskane od firm zajmujących się prowadzeniem działalności w tym zakresie oraz o dane pozyskane z:

- Professional Marine Staff (2016, March 24) Salvors use hot tapping to extract toxics from Lake Erie wreck. Professional Mariner (<https://professionalmariner.com/salvors-use-hot-tapping-to-extract-toxics-from-lake-erie-wreck/>);
- Parker, H., & Moller, T. (2008). Sunken oil and the removal of oil from sunken wrecks, In Proceedings of the 2008 International Oil Spill Conference;
- International Tanker Owners Pollution Federation, International Oil Spill Conference. (2017). Tank Barge ARGO: A case study on the employment of NCP Special Teams. IOSC Proceedings, 2017(1), 498;
- National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of National Marine Sanctuaries, & Office of Response and Restoration. (2013). Risk assessment for potentially polluting wrecks in U.S. waters.

Tabela 47. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – separacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Specjalny rodzaj betonu	500/tona	Tzw. beton podwodny
Specjalne formy zalewowe	20–30/kg	Cena uzależniona od rozmiarów
Koszty monitoringu	8000/obiekt 300/jednorazowa usługa	Zakup, rozmieszczenie detektorów wraz z postprocessingiem przez rok, obsługa
Koszty dodatkowe	22 000/dzień	Specjalistyczne dodatkowe zabezpieczenie działań, ubezpieczenie działań

Tabela 48. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – detonacja *in situ* (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Ładunek wybuchowy	40–200/szt.	W zależności od rodzaju amunicji
Koszty dodatkowe	28 000/dzień	Specjalistyczne dodatkowe zabezpieczenie działań, ubezpieczenie działań

Tabela 49. Koszty wydobycia amunicji chemicznej lub BST (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
<i>Overpack</i>		Nieznane koszty zakupu lub najmu
Robot (koparka do wydobycia amunicji)		Nieznane koszty zakupu lub najmu
Koszty utylizacji substancji niebezpiecznej w istniejącej instalacji	30–40/kg	Najbliższa lokalizacja Niemcy, czas oczekiwania w kolejce ponad 14 miesięcy. Cena zależna od rodzaju materiału i jego ilości
Koszty dodatkowe	20 000/dzień	Specjalistyczne dodatkowe zabezpieczenie działań, ubezpieczenie działań

Tabela 50. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – wiercenie (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Urządzenie do wiercenia i odsysania	300 000/zakup 6000/dzień/wynajęcie 2500/dzień/ obsługa	
Komora do przechowywania odesłanej zawartości	30 000–50 000/zakup	Nieznane koszty wynajęcia
Koszty utylizacji substancji niebezpiecznej w istniejącej instalacji	30–40/kg	Najbliższa lokalizacja Niemcy, czas oczekiwania w kolejce ponad 14 miesięcy.

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
		Cena zależna od rodzaju materiału i jego ilości
Koszty dodatkowe	40 000/dzień	Zabezpieczenia plaż, ruchu drogowego, ubezpieczenie działań itp.

Tabela 51. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – komora detonacji statycznej (SDC) (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV heavy work-class z narzędziami (trencher, wire saw, hot-tap tooling)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Budowa instalacji do utylizacji	ok. 100 000 000	
Koszty transportu do istniejącej instalacji	10/km	
Koszty utylizacji w istniejącej instalacji	30–40/kg	Najbliższa lokalizacja Niemcy, czas oczekiwania w kolejce ponad 14 miesięcy. Cena zależna od rodzaju materiału i jego ilości
Koszty dodatkowe	25 000	Ubezpieczenie działań, ewentualna asysta ochrony do miejsca niszczenia

Tabela 52. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – komora kontrolowanej detonacji (CDC) (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV heavy work-class z narzędziami (trencher, wire saw, hot-tap tooling)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Komora CDC	25 000 000/zakup 8000/dzień/wynajęcie	Dodatkowo koszty transportu
Barka holowana (jeśli neutralizacja prowadzona będzie <i>in situ</i>)	3000 000/zakup 5000/dzień/wynajęcie	
<i>Overpack</i>		Nieznane koszty zakupu lub najmu
Koszty utylizacji odpadów	20/kg	
Koszty transportu odpadów do istniejącej instalacji	10/km	
Koszty dodatkowe	18 000	Ubezpieczenie działań

Tabela 53. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – chemiczna neutralizacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Urządzenie do cięcia i odsysania	300 000/zakup 6000/dzień/wynajęcie	
Komora do przechowywania odesłanej zawartości	30 000/zakup	Nieznane koszty wynajęcia
Koszty utylizacji	30–40/kg	Cena zależna od rodzaju materiału i jego ilości
<i>Overpack</i> (opcja)		Nieznane koszty zakupu lub najmu
Koszty dodatkowe	20 000	Ubezpieczenie działań

5.1.1.3 Analiza kosztów metod neutralizacji stosowanych w wojsku

W tabelach (Tabela 54–Tabela 57) przedstawiono szacunkowe koszty metod neutralizacji stosowanych w wojsku.

Tabela 54. Koszty neutralizacji amunicji chemicznej i BST – rozwiązanie stosowane w wojsku (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Koszty transportu	4/km	Minimum 2 pojazdy (pilot + samochód do transportu). Liczba pojazdów transportowych zależna od ilości ładunku
Dieta	12/dzień/osoba	Minimalna obsada – 3 osoby
Koszty noclegów	240/dzień/osoba	Maksymalnie 20-krotność diety
Utylizacja	Koszty ustalane w ramach zamówień publicznych	Uzależnione od rodzaju i ilości materiałów niebezpiecznych
Koszty sorbentu	25/opakowanie 20 kg	Minimum 1 opakowanie na 1 sztukę amunicji
Koszty dodatkowe	15 000	Ubezpieczenie działań

Tabela 55. Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – detonacja *in situ* (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Komora dekompresyjna	300 000/zakup 5000/dzień/wynajęcie 1000/dzień obsługa	Komora niezbędna, jeśli prace będą prowadzone poniżej 60 m głębokości
Ładunek wybuchowy (zestaw)	400	Dla jednego MWiN – jedna detonacja
Wykorzystanie pojazdu ROV do podłożenia ładunku wybuchowego	do 1000/godz.	ROV można wykorzystywać zamiennie z nurkami
Koszty dodatkowe	do 40 000/dzień	Dodatkowe zabezpieczenie działań, np. przemieszczenia ładunku pod wodą, odstraszenie ryb i ssaków itp.

Tabela 56. Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – deflagracja ładunkiem kumulacyjnym (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Komora dekompresyjna	300 000/zakup 5000/dzień/wynajęcie 1000/dzień obsługa	Komora niezbędna, jeśli prace będą prowadzone poniżej 60 m głębokości
Kumulacyjny ładunek wybuchowy (zestaw)	1000	Dla jednego MWiN – jedna deflagracja
Wykorzystanie pojazdu ROV do podłożenia ładunku wybuchowego	do 1000/godz.	ROV można wykorzystywać zamiennie z nurkami
Koszty dodatkowe	do 40 000/dzień	Dodatkowe zabezpieczenie działań, np. przemieszczenia ładunku pod wodą, asysta w rejonie działań itp.

Tabela 57. Koszty neutralizacji amunicji konwencjonalnej – wydobycie i neutralizacja (źródło: opracowano na podstawie nieoficjalnych zapytań ofertowych i dostępnych danych źródłowych)

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Jednostka pływająca	100 000/dzień	Koszt uwarunkowany rodzajem jednostki pływającej i zakresem prac
Nurek	10 500–21 000/dzień	Przy likwidacji amunicji zakłada się pracę 2 grup po 2 osoby (bez statku). Koszty bez konieczności stosowania systemów dekompresji
DSV (jednostka wsparcia nurkowania) z systemem saturacyjnym i zespołem wsparcia nurkowania	69 600–174 000/dzień	Zakres orientacyjny, zależny od rynku, specyfikacji jednostki i regionu. Praca nurków saturowanych
ROV <i>heavy work-class</i> z narzędziami (<i>trencher, wire saw, hot-tap tooling</i>)	34 800–69 600/dzień	ROV wykorzystywane na głębokich wodach, gdzie praca nurka jest zbyt niebezpieczna lub niemożliwa
Komora dekompresyjna	5000/dzień/wynajęcie 1000/dzień obsługa	Komora niezbędna, jeśli prace będą prowadzone poniżej 60 m głębokości
Wykorzystanie pojazdu ROV do wydobycia	do 1500/godz.	ROV można wykorzystywać zamiennie z nurkami
Komora lub pojazd do przewożenia		Nieznane koszty wynajęcia
Koszty utylizacji	30–40/kg	Cena zależna od rodzaju materiału i jego ilości

Niezbędne zabezpieczenie	Koszt (euro)	Uwagi
Koszty dodatkowe	do 30 000/dzień	Dodatkowe zabezpieczenie działań, np. zabezpieczenie miejsc przeładunku, transportu lądowego, służb MON, MSWiA itp.

Wnioski dotyczące kosztów prac nurkowych

Estymację kosztów oparto na rynkowym cenniku prac prowadzonych przez nurków komercyjnych z materiałami niebezpiecznymi. Cennik zadań realizowanych przez specjalistyczne wojskowe pododdziały nurków minerów nie jest publicznie udostępniony.

6 ANALIZA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

6.1 Analiza ryzyka

Analiza ryzyka w projekcie to proces identyfikowania, szacowania i planowania reakcji na ryzyka w celu ich eliminacji lub obniżenia do akceptowalnego poziomu. Identyfikacja ryzyka obejmuje wykrywanie źródeł ryzyka i ich kategoryzację, a szacowanie i ewaluacja ryzyka polega na ocenie wpływu i prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń. Istnieją metody ilościowe i jakościowe, a także mieszane do analizy ryzyka. Planowanie reakcji na ryzyko obejmuje dostarczenie opcji i akcji, które zmniejszą lub wyeliminują ryzyko. Stosowane strategie reakcji na ryzyko to unikanie, przeniesienie, łagodzenie, akceptacja i plan rezerwowy¹⁶.

Ocena ryzyka to proces identyfikacji zagrożeń, analizy ich prawdopodobieństwa i skutków oraz określania poziomu ryzyka w celu podjęcia odpowiednich działań zaradczych. Do metod oceny ryzyka można zaliczyć m.in. metody jakościowe (np. checklista, Metoda matrycy ryzyka, Metoda Delphi), metody ilościowe [np. Analiza drzewa błędów FTA (*Fault Tree Analysis*), Analiza drzewa zdarzeń ETA (*Event Tree Analysis*), Analiza scenariuszy], metody półilościowe (np. Metoda punktowa), a także nowoczesne i specjalistyczne metody oceny ryzyka (np. HAZOP, FMEA/FMECA, *Bow-Tie Analysis*) oraz metody opierające się na międzynarodowych normach (np. ISO 31000 – Zarządzanie ryzykiem).

Poniżej przedstawiono szczegółowe metody oceny ryzyka, podzielone na klasyczne (ilościowe i jakościowe) oraz nowoczesne i specjalistyczne z uwzględnieniem krótkoterminowej analizy ryzyka (do 3 lat) i długoterminowej (do 30 lat).

Krótkoterminowa analiza ryzyka (do 3 lat), wynikającego z zagrożenia zatopioną amunicją w rejonie Głębi Gdańskiej, sporządzona została w oparciu o złożoną, hybrydową metodę oceny ryzyka, łączącą podejścia ilościowe, półilościowe i eksperckie: kombinacja metody scenariuszowej analizy ryzyka FTA/ETA, matrycy ryzyka oraz danych środowiskowych.

W krótkoterminowej analizie ryzyka połączono dane z raportów HELCOM (HELCOM CHEMU, HELCOM MUNI), projektów MRECW/MODUM/CHEMSEA/DAIMON, a także dane dotyczące stanu technicznego amunicji zatopionej w Bałtyku pozyskane z Marynarki Wojennej RP.

¹⁶Encyklopedia Zarządzania; https://mfiles.pl/pl/index.php/Analiza_ryzyka.

Analizę ryzyka przeprowadzono w oparciu o poniższe założenia:

- rodzaje ryzyka – incydenty prawdopodobne i operacyjne (żegluga, rybołówstwo, inwestycje morskie);
- skala jakościowa – prawdopodobieństwo (niskie/umiarkowane/podwyższone), skutek (lokalny/znaczny/krytyczny);
- środki bojowe typowe dla Bałtyku: iperyt siarkowy, pochodne arsenowe, materiały wybuchowe; jednak bez operacyjnych szczegółów technicznych.

Długoterminowa analiza ryzyka (do 30 lat), wynikającego z zagrożenia zatopioną amunicją w rejonie Głębi Gdańskiej sporządzona została w oparciu o hybrydową, probabilistyczną analizę scenariuszową – łączącą metody FTA/ETA z symulacją Monte Carlo i okresowym uaktualnianiem bayesowskim. Wskazana metoda jest optymalna, ponieważ:

- matryce ryzyka (proste $P \times S$) są zbyt statyczne dla okresu 30 lat i nie uwzględniają niepewności trendów, takich jak korozja i klimat, czy kumulacji zdarzeń;
- FTA (przyczyny) + ETA (następstwa) budują spójny model mechanizmów ryzyka w czasie – idealna baza dla długofalowych scenariuszy;
- metoda Monte Carlo pozwala nadać rozkłady prawdopodobieństwa kluczowym parametrom (tempo korozji, częstość sztormów, intensywność prac offshore, skuteczność procedur);
- aktualizacja bayesowska (która powinna być prowadzona w interwałach co 2–3 lata) „dostraja” parametry modelu danymi z monitoringu (osady/biota, incydenty operacyjne), dzięki czemu ryzyko jest żywe i adaptacyjne, a nie jednorazowe;
- dla wyboru działań można porównywać warianty mitygacji metodą MCDA (wielokryterialna ocena decyzji) z zasadą ALARP – uzyskując możliwość redukcji ryzyka „tak nisko, jak to racjonalnie możliwe”.

Przy opracowaniu analizy przyjęto następujące założenia:

- zakres czasowy – 30 lat;
- rodzaje ryzyka – incydenty prawdopodobne i operacyjne (żegluga, rybołówstwo, inwestycje morskie, eksploracja dna Bałtyku przez amatorów);
- skala jakościowa – prawdopodobieństwo (niskie/umiarkowane/podwyższone), skutek (lokalny/znaczny/krytyczny);
- środki bojowe typowe dla Bałtyku: iperyt siarkowy, arsenowe pochodne, MW; jednak bez operacyjnych szczegółów technicznych.

Ustalono, że w perspektywie najbliższych 30 lat najlepsza jest probabilistyczna analiza scenariuszowa (Bow-Tie/FTA/ETA) + Monte Carlo + MCDA/ALARP, a prosta matryca ryzyka pozostaje tylko warstwą prezentacyjną podsumowującą wyniki.

Dla przeprowadzenia przedmiotowych analiz ryzyka zostały podjęte następujące działania:

- zdefiniowano 6 scenariuszy (S1–S6) i zbudowano Bow-Tie (czyli diagramy FTA + ETA);

- nadano rozkłady poszczególnym incydom wejściowym (korozyjność, sztormy, aktywność inwestycyjna, skuteczność mitygacji);
- zastosowano metodę Monte Carlo dla trzech przedziałów czasowych (0–10/10–20/20–30), a następnie wygenerowano krzywe ryzyka w czasie (P50/P90);
- wskazano na konieczność aktualizowania w przyszłości, z częstotliwością co 2–3 lata, parametrów w oparciu o dane z monitoringu i incydentów (Bayes) oraz publikowanie rewizji ryzyka i map „no-go/caution”;

Biorąc powyższe pod uwagę, zdefiniowano następujące scenariusze możliwych zdarzeń:

- **Scenariusz S1. Prace podmorskie** – oznacza przypadkowe naruszenie obiektu podczas prac podmorskich, na przykład: układanie kabli, prace przy rurociągu, budowa farm wiatrowych, pogłębianie/zarządzanie urobkiem etc. (Tabela 58);
- **Scenariusz S2. Połowcy i zaciągnięcia** – oznacza wyłowienie amunicji przez narzędzia połowowe (trawlerzy, sieci denne, dragi) oraz incydent na pokładzie lub w porcie (Tabela 59);
- **Scenariusz S3. Powolne uwalnianie do środowiska** – oznacza stopniową degradację korpusów amunicji/pojemników w skutek korozji i przenikanie substancji niebezpiecznych do środowiska (brak pojedynczego konkretnego „incydentu”) (Tabela 60);
- **Scenariusz S4. Sztorm/awarie/odstąpienia** – oznacza incydent wtórny po sztormie/awarii jednostki lub akcji ratowniczej (przemieszczenie/odstąpienie obiektu) (Tabela 61);
- **Scenariusz S5. Operacje neutralizacji** – oznacza celowe działania przy odzysku/utylicacji amunicji w rejonie Głębi Gdańskiej (Tabela 62);
- **Scenariusz S6. Indywidualna eksploracja dna** – kontakt z zatopioną bronią chemiczną (podwodne pojazdy prywatne/DIY) – tylko w perspektywie długoterminowej (Tabela 63). Obecne rozwiązania technologiczne nie umożliwiają prowadzenia indywidualnej/prywatnej/rekreacyjnej eksploracji dna na tak dużych głębokościach – stąd scenariusza tego nie uwzględniono w perspektywie krótkoterminowej. Jednak postęp technologiczny może w przyszłości wprowadzić rozwiązania, które tę eksplorację umożliwią. Ponieważ nie można tej działalności całkowicie wykluczyć, dlatego ujęto ten scenariusz jedynie w perspektywie długoterminowej.

Tabela 58. Scenariusz S1. Prace podmorskie (źródło: opracowanie własne)

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalający	Kontakt narzędzi, urządzeń lub ich elementów z amunicją, pęknięcie skorodowanego korpusu, uwolnienie środka bojowego do wody/osadu	Kontakt narzędzi, urządzeń lub ich elementów z amunicją, pęknięcie skorodowanego korpusu, uwolnienie środka bojowego do wody/osadu
Prawdopodobieństwo	Umiarkowane/podwyższone (wzmoczone inwestycje infrastrukturalne w rejonie)	Umiarkowane/podwyższone (wzmoczone inwestycje infrastrukturalne w rejonie, kumulacja prac i starzenie się obiektów)

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Skutek	Znaczny (narażenie pracowników, lokalne skażenie osadów, przestoje projektowe, koszty i reputacja)	Znaczny (narażenie pracowników, lokalne skażenie osadów, przestoje projektowe, koszty i reputacja)
Symptomy	Występowanie anomalii magnetycznych w rejonach planowanych/prowadzonych prac podmorskich, pozytywne wyniki rekonesansu przed rozpoczęciem inwestycji (podejrzane obiekty, pozytywne wyniki badań próbek środowiskowych itp.), zgłoszenia o bryłach substancji przypominających glinę, wzrost interwencji EOD w rejonie planowanych inwestycji	Występowanie anomalii magnetycznych w rejonach planowanych/prowadzonych prac podmorskich, pozytywne wyniki rekonesansu przed rozpoczęciem inwestycji (podejrzane obiekty, pozytywne wyniki badań próbek środowiskowych, itp.), zgłoszenia o bryłach substancji przypominających glinę, wzrost interwencji EOD w rejonie planowanych inwestycji
Działania prewencyjne /mitygacyjne	Obowiązkowe badania geofizyczne (sonar, magnetometria) + wizyjna weryfikacja ROV, korygowanie planowanych obszarów inwestycyjnych, wyznaczenie stref buforowych wokół zagrożonych rejonów, procedury <i>stop-work</i> i ewakuacji, gotowość EOD/CBRN do dalszych działań	Obowiązkowe badania geofizyczne (sonar, magnetometria) + wizyjna weryfikacja ROV, korygowanie planowanych obszarów inwestycyjnych, wyznaczenie stref buforowych wokół zagrożonych rejonów, procedury <i>stop-work</i> i ewakuacji, gotowość EOD/CBRN do dalszych działań

Tabela 59. Scenariusz S2. Połowy i zaciągnięcia (źródło: opracowanie własne)

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalający	Wyłowienie skorodowanego pojemnika/bryły iperytu/amunicji; kontakt członków załogi z substancją niebezpieczną	Wyłowienie skorodowanego pojemnika/bryły iperytu/amunicji; kontakt członków załogi z substancją niebezpieczną
Prawdopodobieństwo	Umiarkowane (potwierdzone historyczne przypadki w regionie Bałtyku)	Umiarkowane/wysokie (utrzymujące się połowy denne, potwierdzone historyczne przypadki w regionie Bałtyku)
Skutek	Znaczny dla zdrowia pojedynczych osób, lokalny środowiskowo, przerwy operacyjne w porcie	Znaczny dla zdrowia pojedynczych osób, lokalny środowiskowo, przerwy operacyjne w porcie
Symptomy	Zgłoszenia rybaków o bryłach substancji przypominających glinę, nietypowych zapachach/objawach na skórze; wzrost interwencji SAR/med dla Głębi Gdańskiej	Zgłoszenia rybaków o bryłach substancji przypominających glinę, nietypowych zapachach/objawach na skórze; wzrost interwencji SAR/med dla Głębi Gdańskiej
Działania prewencyjne /mitygacyjne	Kampanie informacyjne dla rybołówstwa (rozpoznawanie podejrzanych znalezisk, procedura „nie dotykaj/izoluj/zgłoś”); wyposażenie statków/kutrów rybackich w podstawowe środki ochrony, zestawy dekontaminacyjne, jasne procedury zgłoszeń o zdarzeniu	Kampanie informacyjne dla rybołówstwa (rozpoznawanie podejrzanych znalezisk, procedura „nie dotykaj/izoluj/zgłoś”); wyposażenie statków/kutrów rybackich w podstawowe środki ochrony, zestawy dekontaminacyjne, jasne procedury zgłoszeń o zdarzeniu

Tabela 60. *Scenariusz S3. Powolne uwalnianie do środowiska (źródło: opracowanie własne)*

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalaający	Korozja, mikrouwolnienia do osadów/wody, bioakumulacja w biocenozach dennych, powolna dyspersja	Korozja, mikrouwolnienia do osadów/wody, bioakumulacja w biocenozach dennych, powolna dyspersja
Prawdopodobieństwo	Podwyższone (trend korozyjny)	Podwyższone (trend korozyjny, długofalowe zmiany środowiskowe)
Skutek	Lokalny/znaczący środowiskowo (organizmy dno, potencjalny wpływ na łańcuch troficzny)	Lokalny/znaczący środowiskowo (organizmy dno, potencjalny wpływ na łańcuch troficzny)
Symptomy	Wykrycia środków bojowych i produktów ich degradacji w osadach/biocie przy dnie, anomalie ekologiczne w strefach przydennych	Wykrycia środków bojowych i produktów ich degradacji w osadach/biocie przy dnie, anomalie ekologiczne w strefach przydennych
Działania prewencyjne /mitygacyjne	Wdrożenie programów monitoringu osadów i bioty; tworzenie modeli dyspersji; aktualizacja map ryzyka	Wdrożenie programów monitoringu osadów i bioty; tworzenie modeli dyspersji; aktualizacja map ryzyka

Tabela 61. *Scenariusz S4. Sztorm/awarie/odslonięcia (źródło: opracowanie własne)*

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalaający	Osuwy osadów, przemieszczenie obiektów/pojemników z BST; niezamierzone uszkodzenie przez kotwicę/śrubę	Osuwy osadów, przemieszczenie obiektów/pojemników z BST; niezamierzone uszkodzenie przez kotwicę/śrubę
Prawdopodobieństwo	Niskie/umiarkowane	Niskie/umiarkowane
Skutek	Lokalny/znaczący (krótkotrwałe narażenie załogi, punktowe skażenie)	Lokalny/znaczący (krótkotrwałe narażenie załogi, punktowe skażenie)
Symptomy	Wykrycie środków bojowych i produktów ich degradacji w osadach/biocie przy dnie, anomalie ekologiczne w strefach przydennych/zgłoszenia od załóg	Wykrycie środków bojowych i produktów ich degradacji w osadach/biocie przy dnie, anomalie ekologiczne w strefach przydennych/zgłoszenia od załóg
Działania prewencyjne /mitygacyjne	Zarządzanie ruchem (ostrzeżenia nawigacyjne), szybkie rozpoznanie dna po epizodach pogodowych, tymczasowe zamknięcia sektorów	Zarządzanie ruchem (ostrzeżenia nawigacyjne), szybkie rozpoznanie dna po epizodach pogodowych, tymczasowe zamknięcia sektorów

Tabela 62. *Scenariusz S5. Operacje neutralizacji (źródło: opracowanie własne)*

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalaający	Prace oczyszczania z materiałów niebezpiecznych	Prace oczyszczania z materiałów niebezpiecznych
Prawdopodobieństwo	Rosnące (trend inwestycyjny i pilotaże technologiczne)	Rosnące (trend inwestycyjny i pilotaże technologiczne)
Skutek	Lokalny/znaczący (zależny od praktyk)	Lokalny/znaczący (zależny od praktyk)
Symptomy	Wykrycie środków bojowych i produktów ich rozkładu w osadach i w wodzie,	Wykrycie środków bojowych i produktów ich rozkładu w osadach i w wodzie,

Aspekt	Perspektywa krótkoterminowa	Perspektywa długoterminowa
	pojawienie się brył substancji przypominających glin, zgłoszenia od załóg jednostek pływających	pojawienie się brył substancji przypominających glin, zgłoszenia od załóg jednostek pływających
Działania prewencyjne /mitygacyjne	Standardy międzynarodowe, transparentne plany transportu/utylizacji, koordynacja regionalna (HELCOM, OSPAR), potencjalni interesariusze	Standardy międzynarodowe, transparentne plany transportu/utylizacji, koordynacja regionalna (HELCOM, OSPAR), potencjalni interesariusze

Tabela 63. Scenariusz S6. Indywidualna eksploracja dna – kontakt z zatopioną bronią chemiczną (podwodne pojazdy prywatne/DIY) – perspektywa długoterminowa (źródło: opracowanie własne)

Aspekt	Perspektywa długoterminowa
Mechanizm wyzwalający	Niezamierzony kontakt rekreacyjnego nurka, użytkownika skutera podwodnego/ osobistego pojazdu podwodnego (DIY/komercyjnego mikro-UUV/mikro-sub) z obiektem niebezpiecznym, naruszenie skorodowanego korpusu przez śrubę, balast, manipulator lub kotwiczkę; podniesienie brył substancji przypominających glinę i transport na brzeg/jednostkę
Prawdopodobieństwo	Umiarkowane dziś, rosnące w czasie , w miarę upowszechniania tanich czujników, druku 3D, marketplace'ów z komponentami UUV i „maker movement”. 0–10 lat: średnie (nisza pasjonatów, pierwsze przypadki) 10–20 lat: średnio-wysokie (tańszy sprzęt, grupy hobbystyczne, „turystyka wrakowa”) 20–30 lat: wysokie (powszechne „mikro-suby”, lepsza autonomia i zasięg, większa penetracja stref ryzyka)
Skutek	Znaczący dla zdrowia (poparzenia chemiczne skóry/oczu, inhalacje oparów), lokalny środowiskowo (punktowe skażenie sprzętu/ubrania/łodzi, przeniesienie zanieczyszczeń do portu lub na plażę), obciążenie służb SAR/EOD/medycznych, koszty dekontaminacji i negatywny efekt reputacyjny (media społecznościowe).
Symptomy	- Upubliczniane posty/filmy w social mediach z podejrzanymi „znaleziskami”, bryły substancji przypominających glinę, o cechach smoły/czosnkowego zapachu - Zgłoszenia od sklepów nurkowych/klubów o kontaktach skórnych/ocznych po nurkowaniach przy wrakach - Rejestracje/loty mikro-UUV w pobliżu stref „no-go” lub anomalii magnetycznych; wzrost interwencji SAR/EOD w rejonach rekreacyjnych - Nietypowe zapachy/objawy na małych jednostkach lub w portach jachtowych po powrocie jednostek pływających
Działania prewencyjne /mitygacyjne	- Mapy ryzyka + geo-ogrodzenia (<i>geofencing</i>) dla rekreacji: publiczne, aktualizowane co 12 mies., z integracją do popularnych aplikacji dla nurków/żeglarzy/UUV (alerty: „no-go/caution”) - System zezwoleń/rejestracji dla osobistych UUV/mikro-subów w akwenach wrażliwych; obowiązek posiadania ubezpieczenia OC oraz standardu awaryjnego wynurzenia/łączności - Edukacja i kampanie „rozpoznaj–odizoluj–zgłoś” w szkołach nurkowania, klubach i marinach (bez instrukcji obchodzenia się z amunicją) typu: nie dotykać, nie przenosić, natychmiast zgłosić do VTS/SAR/EOD

Aspekt	Perspektywa długoterminowa
	- Oznakowanie portowe i plażowe (piktogramy, QR z numerami alarmowymi, zasady pierwszej pomocy i dekontaminacji podstawowej odzieży/sprzętu) - Procedury portowe: izolacja i dekontaminacja potencjalnie skażonego sprzętu na zewnątrz budynków - Szybkie korytarze zgłoszeniowe do sanepidu i EOD - Kontrola sprzedaży/eksploatacji - Wymóg oprogramowania <i>geofencing</i>/„stref zakazanych” w komercyjnych UUV; rekomendacje dla marketplace’ów dot. odpowiedzialnej oferty - Monitoring i patrole: sezonowe rekonesanse dna przy popularnych wrakach; współpraca z klubami (program „bezpieczny wrak”) - Ćwiczenia międzysektorowe raz w roku, np. scenariusz kontaktu osoby prywatnej z BST (SAR, EOD/CBRN, port, sanepid, medycyna)

Na podstawie powyższych scenariuszy została opracowana macierz ryzyka w perspektywie kolejnych 3 lat (Tabela 64).

Tabela 64. Macierz ryzyka na lata 2027–2030 (źródło: opracowanie własne)

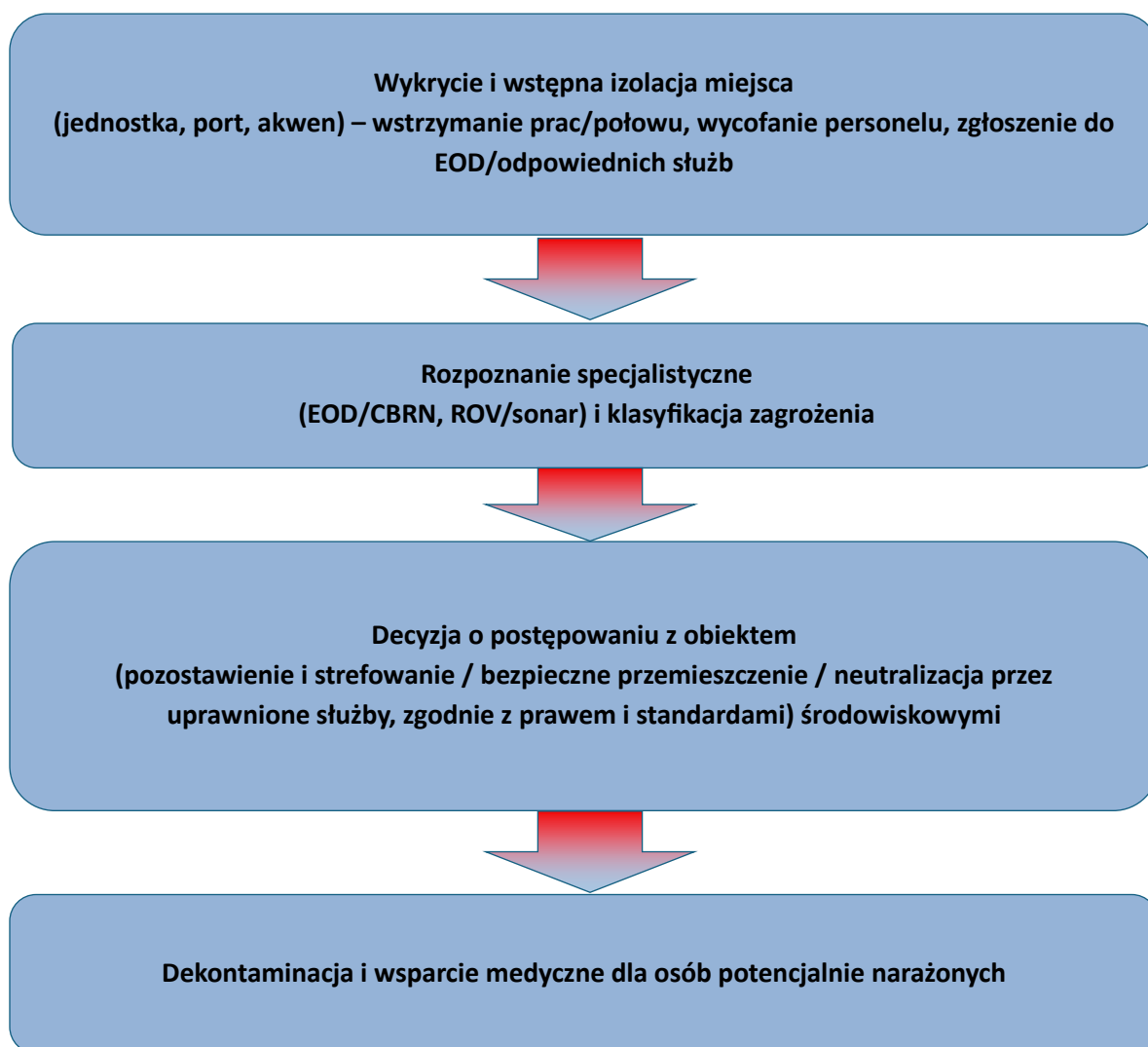
Scenariusz	Prawdopodobieństwo	Skutek	Priorytet działań
S1 Prace podmorskie	Umiarkowane/ podwyższone	Lokalny/znacznym	Wysoki
S2 Połowry denne i zaciągnięcia	Umiarkowane	Lokalny/znacznym	Wysoki
S3 Powolne uwalnianie do środowiska	Niskie–umiarkowane	Lokalny/znacznym	Niski
S4 Sztorm/awarie/odstąpienia	Niskie–umiarkowane	Lokalny/znacznym	Średni
S5 Operacje neutralizacji	Rosnące	Lokalny/znacznym	Średni

Zakładając możliwość wystąpienia któregośkolwiek z przedstawionych scenariuszy, należy uwzględnić konieczność podejmowania działań prewencyjnych, do których zalicza się:

- mapowanie oraz wyznaczanie stref ryzyka dna** – aktualizacja map anomalii i „no-go” z buforami dla inwestycji oraz połowów dennych, jak również integracja z systemami nawigacyjnymi i planistycznymi;
- wprowadzenie standardu „zero zaskoczeń” dla prac podmorskich** – obowiązkowe badania magnetometryczne/sonarowe + weryfikacja ROV przed wbiciem pała, układaniem kabli, pogłębianiem, procedura „stop-work” i wezwanie EOD przy wykryciu zagrożenia;
- program ukierunkowanego monitoringu środowiskowego** – stałe punkty w Głębi Gdańskiej (osady, małże/ryby denne), raporty i aktualizacja modeli dyspersji;
- bezpieczeństwo rybołówstwa** – krótkie, praktyczne wytyczne „rozpoznaj–odizoluj–zgłoś”, szkolenia portowe, linia alarmowa; oznakowanie w portach i skupach ryb;

- **koordynację regionalną** – wykorzystanie narzędzi DAIMON (ocena ryzyka obiektów, wsparcie decyzyjne), wymiana danych z państwami regionu, synchronizacja ostrzeżeń żeglugowych;
- **przygotowanie na zdarzenie** – plany reagowania międzysektorowe (MON, MSWiA, Morska Służba Poszukiwawczo-Ratownicza, porty morskie, służby sanitarno-epidemiologiczne, służby medyczne), z ćwiczeniami praktycznymi – bez upubliczniania wrażliwych taktycznych szczegółów.

Uwzględniając konieczność reakcji przy wystąpieniu zagrożenia, poniżej przedstawiono przykładowy algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem działań dla scenariusza S2 (Rysunek 16).



Rysunek 16. Algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem – Scenariusz 2. Połowy denne i zaciągnięcia (źródło: opracowanie własne)

Powyższe kroki opisują ramy zarządzania ryzykiem bez operacyjnych instrukcji obchodzenia się ze środkami bojowymi. Oceniając przedstawione scenariusze pod kątem ryzyka, opracowano poniższe zestawienie, z którego wynika, że najwyższym priorytetem w zakresie podjęcia działań, przygotowania narzędzi oraz sił i środków powinny zostać objęte wszelkie działania związane z inwestycjami i pracami prowadzonymi na dnie morskim oraz z połowami dennymi (scenariusze S1 i S2). Z kolei scenariusz S3

(powolne uwalnianie BST/MW do środowiska) wymaga systematycznego monitorowania i kwalifikuje się do tzw. ryzyka przewlekłego. Natomiast scenariusze S4 i S5 w kontekście ryzyka zostały ocenione jak ryzyka epizodyczne, które mimo wszystko wymuszają na władzach lokalnych i regionalnych koordynację działań i potencjalną gotowość do reakcji na zagrożenie.

Odnosząc się z kolei do analizy długoterminowej, podjęto te same prace jak powyżej, tj. w oparciu o przedstawione scenariusze opracowano macierz ryzyka w perspektywie kolejnych 30 lat (Tabela 65).

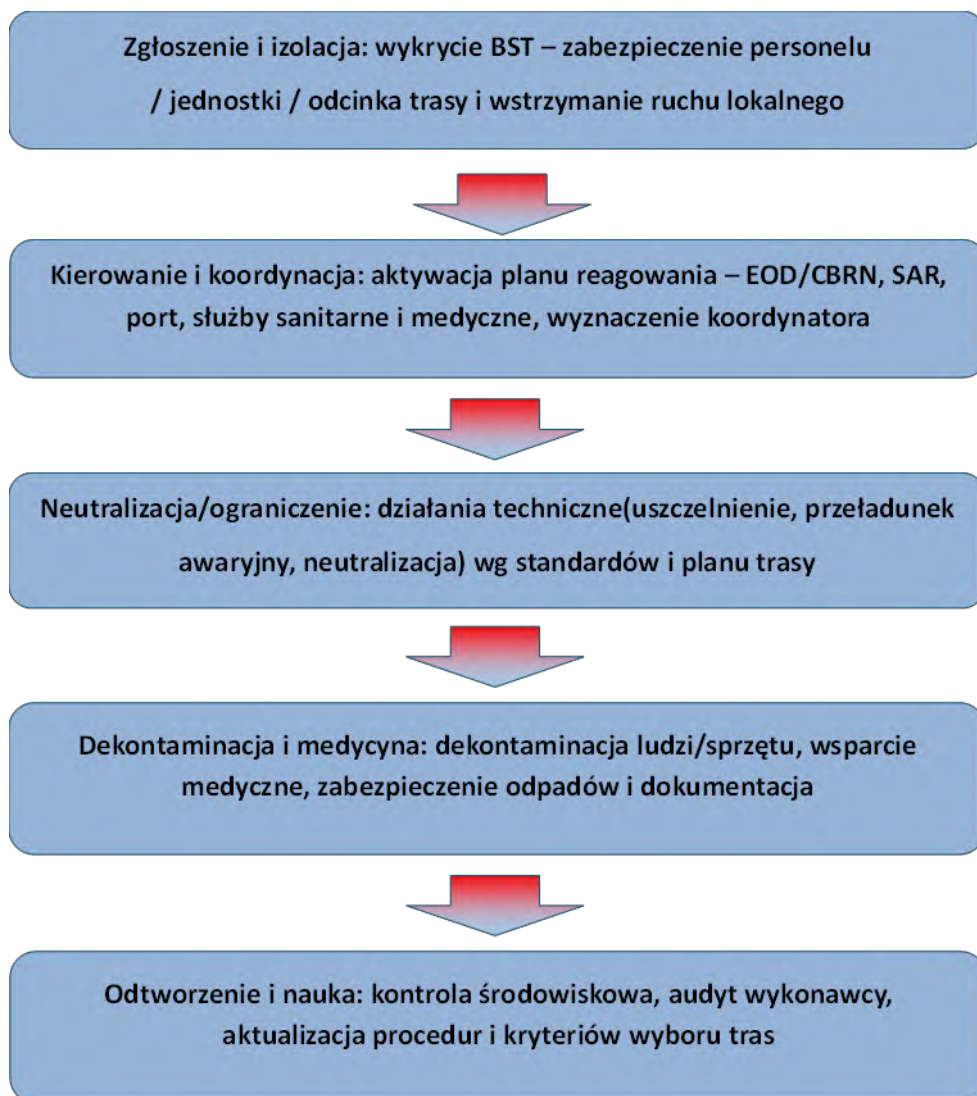
Tabela 65. Macierz ryzyka dla zagrożeń Głębi Gdańskiej na lata 2027–2057 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz	Prawdopodobieństwo	Skutek	Priorytet działań
S1 Prace podmorskie	Umiarkowane/podwyższone	Znaczny	Wysoki
S2 Połowy i zaciągnięcie	Umiarkowane	Znaczny	Wysoki
S3 Powolne uwalnianie do środowiska	Niskie–umiarkowane	Lokalny/znaczny	Niski
S4 Sztorm/awarie/odstąpienia	Niskie–umiarkowane	Lokalny/znaczny	Średni
S5 Operacje neutralizacji	Rosnące	Lokalny/znaczny	Średni
S6 Indywidualna eksploracja dna	Rosnące	Znaczny	Wysoki

Zakładając możliwość wystąpienia któregośkolwiek z przedstawionych scenariuszy, należy uwzględnić konieczność podejmowania działań prewencyjnych, do których należy zaliczyć:

- **mapowanie oraz wyznaczanie stref ryzyka dna** – aktualizacja map anomalii i „no-go” z buforami dla inwestycji oraz połowów dennych, jak również integracja z systemami nawigacyjnymi i planistycznymi;
- **wprowadzenie standardu „zero zaskoczeń” dla prac podmorskich** – obowiązkowe badania magnetometryczne/sonarowe + weryfikacja ROV przed wbiciem pala, układaniem kabli, pogłębianiem, procedura „stop-work” i wezwanie EOD przy wykryciu zagrożenia;
- **program ukierunkowanego monitoringu środowiskowego** – stałe punkty w Głębi Gdańskiej (osady, małże/ryby denne), coroczne raporty i aktualizacja modeli dyspersji;
- **bezpieczeństwo rybołówstwa** – krótkie, praktyczne wytyczne „rozpoznaj–odizoluj–zgłoś”, szkolenia portowe, linia alarmowa; oznakowanie w portach i skupach ryb;
- **koordynację regionalną** – wykorzystanie narzędzi DAIMON (ocena ryzyka obiektów, wsparcie decyzyjne), wymiana danych z państwami regionu, synchronizacja ostrzeżeń żeglugowych;
- **przygotowanie na zdarzenie** – plany reagowania międzysektorowe (MON, MSWiA, Morska Służba Poszukiwawczo-Ratownicza, porty morskie, służby sanitarno-epidemiologiczne, służby medyczne), z ćwiczeniami praktycznymi – bez upubliczniania wrażliwych taktycznych szczegółów.

Uwzględniając konieczność reakcji przy wystąpieniu zagrożenia, poniżej został przedstawiony (podobnie jak dla analizy krótkoterminowej) przykładowy algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem działań (Rysunek 17).



Rysunek 17. Algorytm działania dla incydentu objętego wysokim priorytetem – Scenariusz 1. Prace podmorskie (źródło: opracowanie własne)

Powyższe kroki opisują ramy zarządzania ryzykiem bez operacyjnych instrukcji obchodzenia się ze środkami bojowymi. Oceniając przedstawione scenariusze pod kątem ryzyka, opracowano poniższe zestawienie, z którego wynika, że najwyższym priorytetem w zakresie podjęcia działań, przygotowania narzędzi oraz sił i środków powinny zostać objęte wszelkie działania związane z inwestycjami i pracami prowadzonymi na dnie morskim oraz z połowami dennymi (scenariusze S1, S2 i S6 dla analizy długoterminowej).

Scenariusz S3 (powolne uwalnianie BST do środowiska) wymaga systematycznego monitorowania i kwalifikuje się do tzw. ryzyka przewlekłego.

Scenariusze S4, S5 w kontekście ryzyka zostały ocenione jak ryzyka epizodyczne, które mimo wszystko wymuszają na władzach lokalnych i regionalnych koordynację działań i potencjalną gotowość do reakcji na zagrożenie.

Dla każdego z przedstawionych powyżej scenariuszy zostały przedstawione drzewa zdarzeń ETA i błędów FTA.

Diagram FTA służy do identyfikacji i analizy przyczyn prowadzących do wystąpienia określonego, niepożądanego zdarzenia – tzw. zdarzenia szczytowego (*top event*). Jest to metoda dedukcyjna, w której zaczyna się od skutku (awarii, incydentu) i analizuje, jakie czynniki lub błędy mogły do niego doprowadzić. W analizie ryzyka środowiskowego lub morskiego (jak w Głębi Gdańskiej) FTA pomaga zrozumieć:

- jakie kombinacje przyczyn (np. korozja, błędy ludzkie, zjawiska naturalne) mogą doprowadzić do uwolnienia toksycznych substancji lub skażenia środowiska;
- gdzie w systemie istnieją „słabe punkty”, które warto monitorować lub wzmacniać.

Metoda FTA pozwala ustalić hierarchię przyczyn i ich znaczenie, a przy tym wspiera podejmowanie decyzji o działaniach prewencyjnych i umożliwia analizę zarówno technicznych, jak i organizacyjnych źródeł błędów.

Z kolei metoda ETA służy do prognozowania możliwych skutków po wystąpieniu zdarzenia inicjującego (*initiating event*). Jest to metoda indukcyjna – zaczyna się od jednego zdarzenia i analizuje w górę, jakie konsekwencje mogą wystąpić w zależności od działania lub braku działania systemów zabezpieczeń. W analizie środowiskowej ETA pozwala:

- określić, jak rozwinie się incydent, np. czy dojdzie do skażenia wód, czy zostanie ono powstrzymane;
- ocenić skuteczność procedur reagowania i systemów ochronnych;
- wskazać, które reakcje (np. ewakuacja, neutralizacja) mają kluczowe znaczenie dla ograniczenia skutków.

Metoda drzewa zdarzeń umożliwia wizualizację ścieżek rozwoju zdarzeń i ich prawdopodobieństwo, pomaga w planowaniu scenariuszy awaryjnych oraz wspiera opracowanie planów reagowania kryzysowego.

Dzięki ETA można m.in. opracować procedury szkoleniowe dla rybaków i instrukcje reagowania, które redukują prawdopodobieństwo niekontrolowanego rozwoju zdarzeń.

Generalnie zastosowanie metod FTA i ETA w analizie Głębi Gdańskiej:

- pozwala zrozumieć mechanizmy ryzyka i procesy prowadzące do uwolnienia BST;
- umożliwia modelowanie reakcji systemu na zdarzenia (czyli ocenę skuteczności działań ochronnych);
- dostarcza podstaw do decyzji prewencyjnych i budowania planów zarządzania kryzysowego;

- wspiera zasadę ALARP – utrzymywanie ryzyka na poziomie „tak niskim, jak racjonalnie możliwe”.

Diagram FTA (Fault Tree Analysis)

Analiza FTA (drzewa błędów) przedstawia logiczne zależności pomiędzy potencjalnymi przyczynami, które mogą doprowadzić do zdarzenia szczytowego – uwolnienia bojowych środków trujących (BST).

Diagram ETA (Event Tree Analysis)

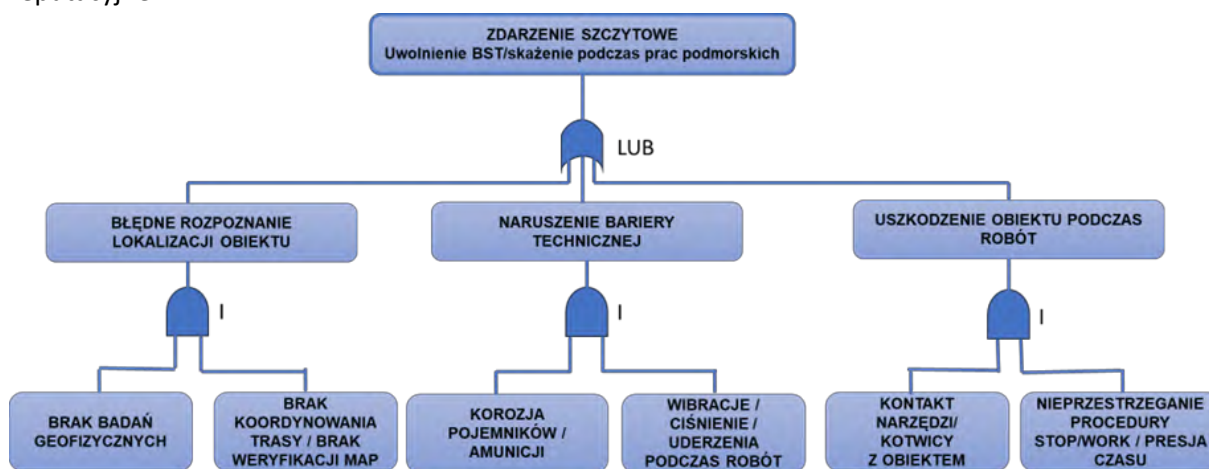
Analiza ETA (drzewa zdarzeń) prezentuje możliwe konsekwencje po wystąpieniu zdarzenia inicjującego, czyli uwolnienia BST. Diagram pokazuje potencjalne ścieżki rozwoju sytuacji w zależności od reakcji służb, stanu sprzętu oraz zastosowania procedur awaryjnych.

Scenariusz 1. Prace podmorskie

Na rysunkach (Rysunek 18, Rysunek 19) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

Opis scenariusza

Scenariusz S1 dotyczy przypadkowego naruszenia obiektu z bronią chemiczną podczas prac podmorskich, takich jak układanie kabli, budowa farm wiatrowych czy pogłębianie dna. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia jest umiarkowane do podwyższonego, a skutki mogą być znaczące – krótkoterminowe skażenie osadów, narażenie personelu oraz opóźnienia projektowe i straty reputacyjne.



Rysunek 18. Diagram FTA dla Scenariusza 1 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 19. Diagram ETA dla Scenariusza 1 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz 2. Połowcy i zaciąganie

Na rysunkach (Rysunek 20, Rysunek 21) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

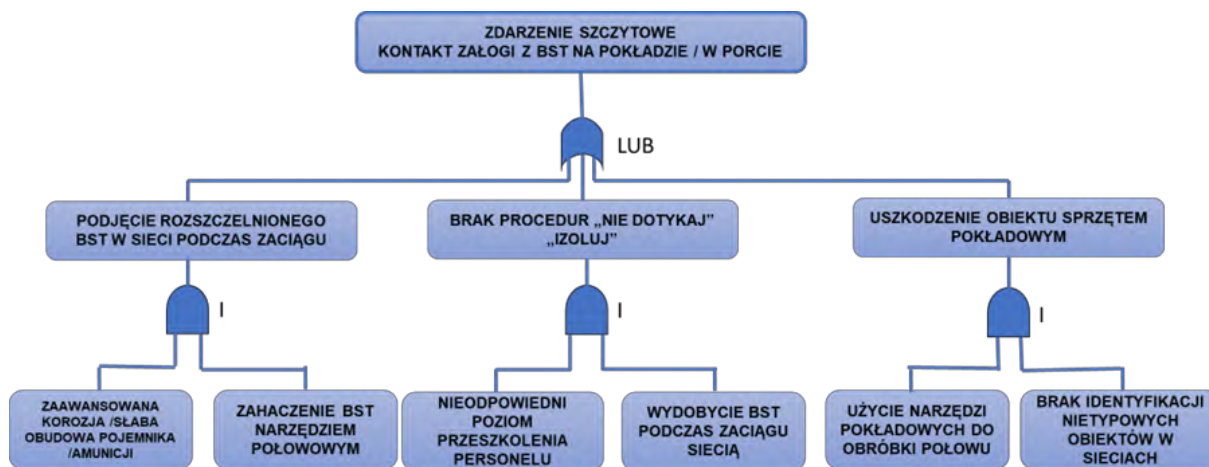
Mechanizmy wyzwalające: wyłowienie skorodowanego pojemnika/brył iperytu; kontakt członków załogi z substancją niebezpieczną.

Prawdopodobieństwo: umiarkowane (potwierdzone historyczne przypadki w regionie Bałtyku).

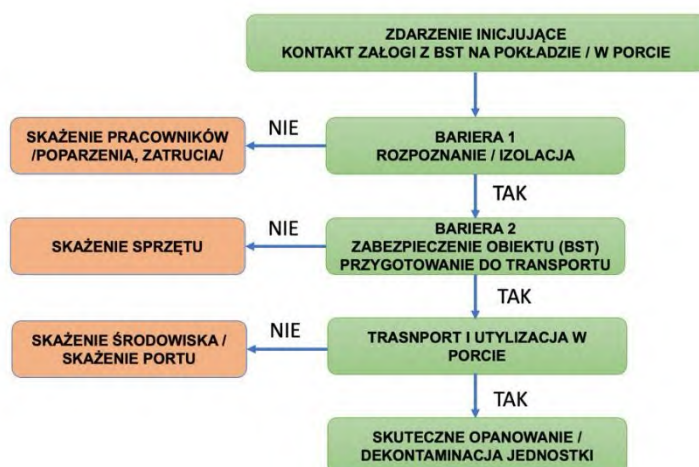
Skutek: znaczny dla zdrowia pojedynczych osób, lokalny środowiskowo.

Symptomy: zgłoszenia rybaków o bryłach substancji przypominających glinę, nietypowych zapachach/objawach; wzrost interwencji SAR/medycznej.

Działania prewencyjne/mitygacyjne: kampanie informacyjne dla rybołówstwa (rozpoznawanie podejrzanych znalezisk, procedura „nie dotykaj/izoluj/zgłoś”); wyposażenie statków/kutrów rybackich w podstawowe środki ochrony, standardy dekontaminacyjne i łączność z Morskimi Służbami Poszukiwawczo-Ratowniczymi i EOD.



Rysunek 20. Diagram FTA dla Scenariusza 2 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 21. Diagram ETA dla Scenariusza 2 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz 3. Powolne uwalnianie do środowiska

Na rysunkach (Rysunek 22, Rysunek 23) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

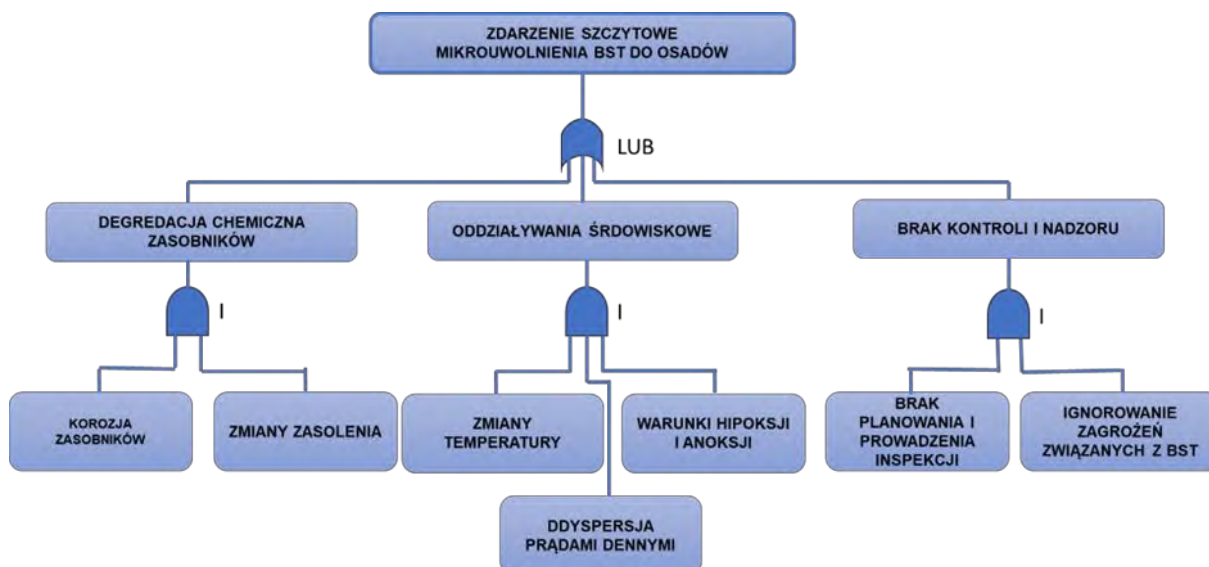
Mechanizmy wyzwalające: korozja pojemników/korpusów amunicji, mikrouwalnienia do osadów/wody, bioakumulacja w biocenozach dennych, powolna dyspersja.

Prawdopodobieństwo: podwyższone (trend korozyjny).

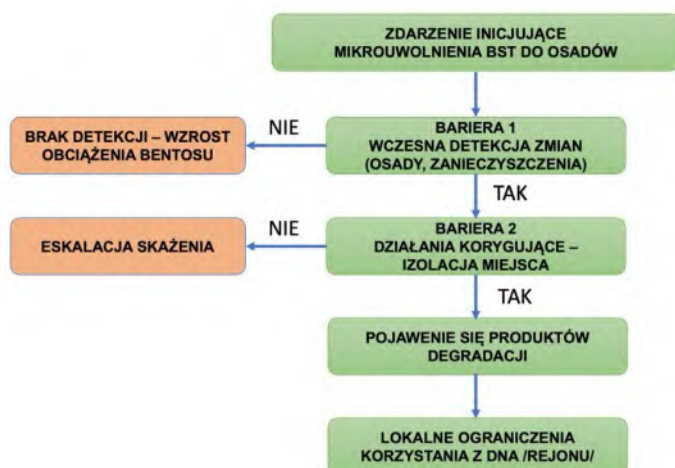
Skutek: lokalny/znaczący środowiskowo (organizmy denne, potencjalny wpływ na łańcuch troficzny).

Symptomy: wykrycia metabolitów BST w osadach/biotach przy dnie, anomalie ekologiczne w strefach hipoksji.

Działania prewencyjne/mitygacyjne: monitoring osadów i bioty, modele dyspersji i próbkowania ukierunkowane, aktualizacja map ryzyka.



Rysunek 22. Diagram FTA dla Scenariusza 3 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 23. Diagram ETA dla Scenariusza 3 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz 4. Sztorm/awaria/odstąpienie

Na rysunkach (Rysunek 24, Rysunek 25) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

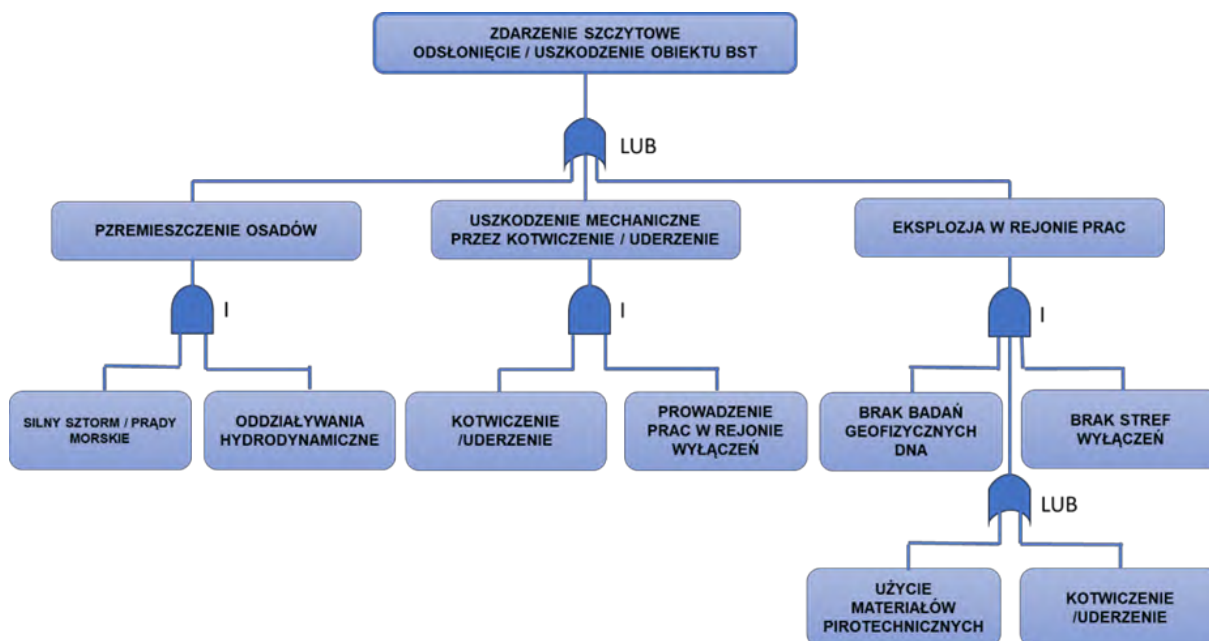
Mechanizm wyzwalający: przemieszczanie osadów dennych, przemieszczenie obiektów/pojemników BST, niezamierzone uszkodzenie przez kotwicę/śrubę.

Prawdopodobieństwo: niskie–umiarkowane.

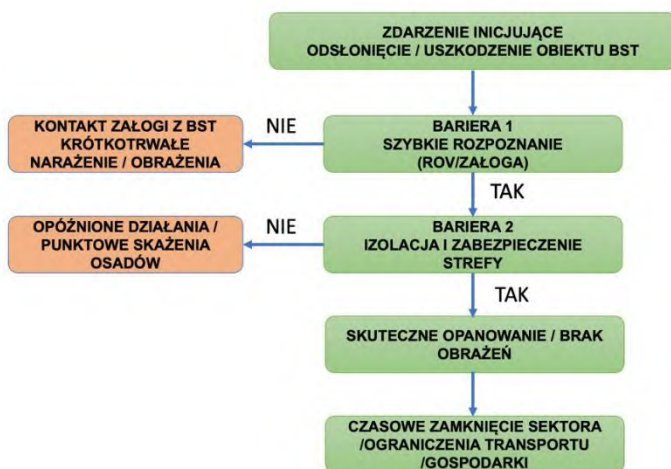
Skutek: lokalny/znaczny (krótkotrwałe narażenie załogi, punktowe skażenie).

Symptomy: wykrycia BST lub produktów degradacji BST, anomalie ekologiczne w strefach przydennych, zgłoszenia od załóg.

Działania prewencyjne/mitygacyjne: zarządzanie ruchem (AtoN, ostrzeżenia), szybkie rozpoznanie dna po epizodach pogodowych, tymczasowe zamknięcia sektorów.



Rysunek 24. Diagram FTA dla Scenariusza 4 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 25. Diagram ETA dla Scenariusza 4 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz 5. Operacje neutralizacji

Na rysunkach (Rysunek 26, Rysunek 27) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

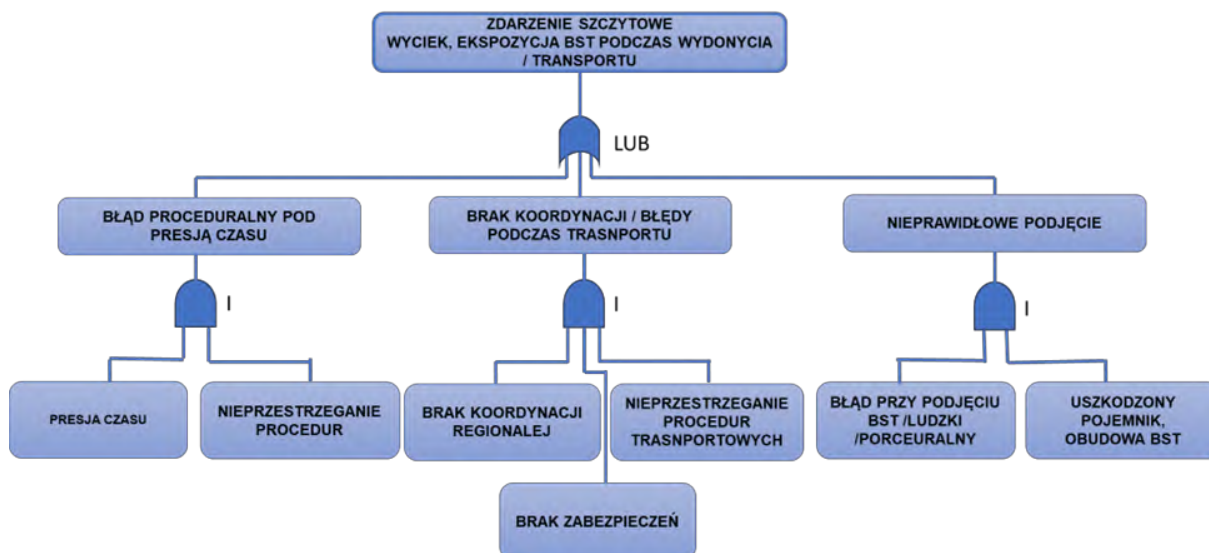
Mechanizm wyzwalający: prace oczyszczania na akwenach przyległych, transport przeznaczonych do utylizacji materiałów niebezpiecznych, presja czasu.

Prawdopodobieństwo: rosnące (trend inwestycyjny i pilotaże technologiczne).

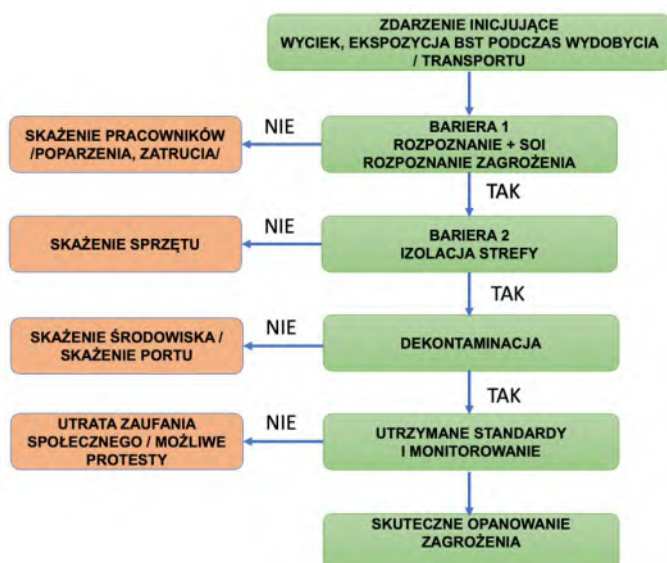
Skutek: lokalny/znaczący (zależny od praktyk).

Symptomy: wykrycia produktów rozkładu BST i BST w osadach i wodzie, bryły substancji przypominających glinę, zgłoszenia od załóg.

Działania prewencyjne/mitygacyjne: standardy międzynarodowe, transparentne plany transportu/utylicacji, koordynacja regionalna (HELCOM, OSPAR, potencjalni interesariusze).



Rysunek 26. Diagram FTA dla Scenariusza 5 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 27. Diagram ETA dla Scenariusza 5 (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz 6. Indywidualna eksploracja dna (mikrołódzie, drony, nurkowie)

Na rysunkach (Rysunek 28, Rysunek 29) przedstawiono diagramy FTA i ETA ilustrujące przyczyny oraz skutki potencjalnych zdarzeń.

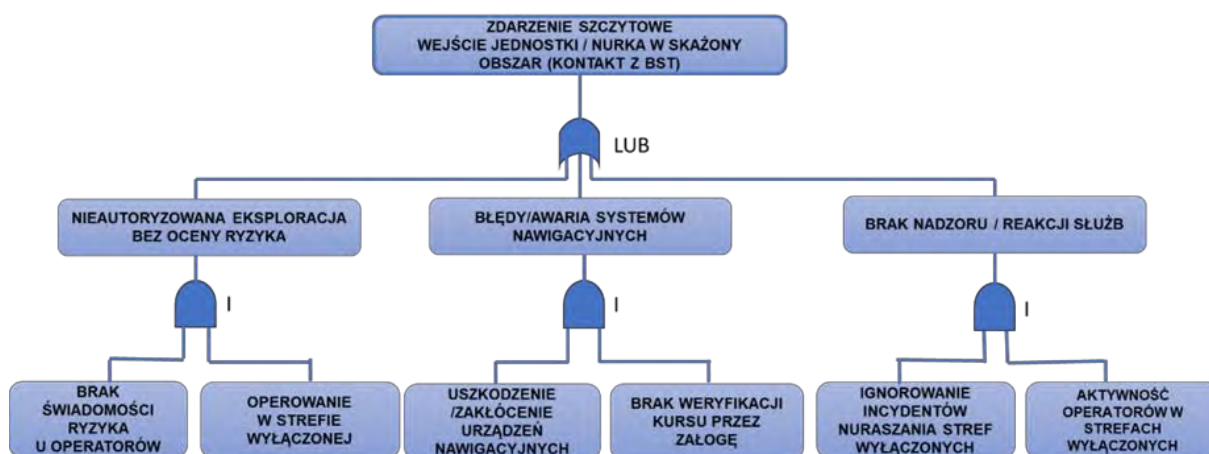
Mechanizm wyzwający: wzrost dostępności technologii (ROV, AUV, drony podwodne, mikrołódzie autonomiczne, prace badawcze, szkoleniowe lub amatorskie eksploracje (nurkowie rekreacyjni, pasjonaci wraków), brak kontroli nad ruchem jednostek małych / prywatnych sonarów.

Prawdopodobieństwo: rosnące (spadek kosztów technologii, popularyzacja „morskiej turystyki eksploracyjnej”).

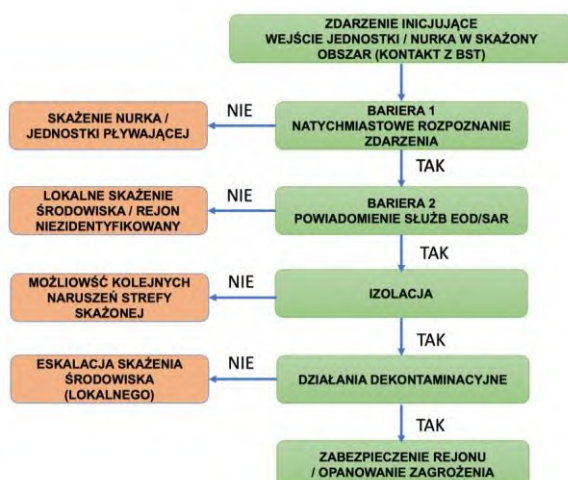
Skutek: lokalny do znaczącego (w zależności od interakcji ze skażeniem lub zalegającymi obiektami niebezpiecznymi – np. amunicja, toksyczne substancje).

Symptomy ostrzegawcze: zgłoszenia z jednostek pływających o dziwnych o bryłach substancji przypominających glinę/metalach, obraz sonarowy pokazujący naruszenie osadów, monitoring dronów/sonarów pokazujący wniesienie metali ciężkich/metabolitów BST do toni wodnej.

Działania prewencyjne/mitygacyjne: strefy zakazu eksploracji – formalne NOTAM/MARNAV, wydawanie zezwoleń na eksplorację wraz z instrukcjami bezpieczeństwa, edukacja nurków i operatorów ROV (kontakt z toksynami, BST, amunicją), współpraca z SAR, Strażą Graniczną, MON, HELCOM.



Rysunek 28. Diagram FTA dla Scenariusza 6 (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 29. Diagram ETA dla Scenariusza 6 (źródło: opracowanie własne)

Metoda Monte Carlo (dla analizy długoterminowej)

Analiza Monte Carlo jest metodą statystycznej symulacji wykorzystywaną do oceny ryzyka i niepewności w systemach technicznych, środowiskowych, finansowych oraz militarnych. W przeciwieństwie do podejścia deterministycznego, które zakłada jeden wynik, metoda Monte Carlo

generuje wiele tysięcy możliwych scenariuszy, losując zmienne wejściowe z zadanych rozkładów prawdopodobieństwa.

Główne zalety metody:

- pozwala uwzględnić niepewność danych wejściowych;
- daje rozkład wyników, a nie pojedynczą liczbę;
- umożliwia określenie ryzyka ekstremalnych strat (np. kwantyl P95);
- pozwala obliczyć EAL (*Expected Annual Loss*), czyli oczekiwaną roczną stratę finansową.

Każdy z sześciu scenariuszy (S1–S6), które są przedmiotem rozważań tej analizy, dotyczy zdarzeń związanych z bronią chemiczną (BST) i amunicją zalegającą na dnie Bałtyku (Tabela 66), ale:

- ma inne prawdopodobieństwo wystąpienia;
- może generować odmienne skutki zdrowotne, środowiskowe i finansowe;
- charakteryzuje się dużą niepewnością danych wejściowych (np. stopień korozji, częstotliwość prac podmorskich, czynnik ludzki).

Metoda Monte Carlo pozwala to ująć, symulując np. 50 000 wariantów rocznej sytuacji dla każdego scenariusza.

Przedstawiona symulacja Monte Carlo ma charakter ilustracyjny. Założono zmienne w czasie częstości incydentów (roczne λ w trzech dekadach) oraz straty jednostkowe zgodne z rozkładem lognormalnym (w mln PLN). Wyniki przedstawiają łączny rozkład strat w 30-letnim horyzoncie oraz oczekiwaną stratę roczną (EAL). Parametry można łatwo podmienić na dane empiryczne z monitoringu i rejestrów incydentów.

Dla każdego scenariusza (S1–S6) przeprowadzono z wykorzystaniem narzędzi wspomaganych AI 50 000 symulacji, podczas których losowano:

1. prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia w danym roku (P) – zamiast jednej wartości przyjęto rozkład trójkątny (Triangular):

$$P \sim \text{Triangular}(P_{\min}, P_{\text{mode}}, P_{\max}) \text{ (minimalne, uśrednione, maksymalne)}$$

2. wielkość straty (finansowy skutek zdarzenia) – opisywana przez rozkład lognormalny na podstawie mediany (Me) i odchylenia logarytmicznego (σ):

$$\text{Strata surowa} \sim \text{Lognormal}(\text{mediana} = Me, \sigma)$$

3. wykrycie zdarzenia (detekcja) – losowane z rozkładu jednostajnego *Uniform* (0.40 – 0.80) → określa, czy służby zauważą zdarzenie.
4. skuteczność mitygacji (działań ograniczających skutki) – losowane z *Uniform* (0.20 – 0.60) → określa, jaka część skutków zostanie zredukowana, jeśli zdarzenie zostanie wykryte.
5. ostateczna strata w symulacji obliczana była według wzoru:

$$\text{Strata roczna} = \text{Czy zdarzenie wystąpiło?} \times \text{Strata surowa} \times (1 - \text{mitygacja}).$$

Tabela 66. Przykładowe zdarzenia dla poszczególnych scenariuszy (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz	Nazwa	Przykład zdarzenia
S1	Prace podmorskie	Przypadkowe naruszenie obiektu BST podczas kładzenia kabli / budowy farm wiatrowych
S2	Połowy	Wyciągnięcie bryły iperytu w sieci rybackiej
S3	Powolne uwalnianie	Korozja pojemników i wolne uwalnianie toksyn do osadów
S4	Sztormy i awarie	Przemieszczenie obiektu BST w wyniku sztormu lub zahaczenie kotwicą
S5	Oczyszczanie i utylizacja	Operacje wydobywania i transportu niebezpiecznych obiektów
S6	Indywidualna eksploracja	Nurkowanie rekreacyjne, drony podwodne, mikrołódzie w strefie skażenia

Każdy scenariusz miał przypisane indywidualne wartości: ($P_{\min}$, P_{mode} , $P_{\max}$) oraz medianę skutków finansowych – zgodnie z wcześniejszymi danymi.

W tabeli (Tabela 67) przedstawiono wyniki obliczeń Monte Carlo (50 000 symulacji dla każdego scenariusza).

Tabela 67. Wyniki symulacji Monte Carlo – straty roczne (mln PLN) (źródło: opracowanie własne)

Scenariusz	P (zdarzenia)	EAL (mln PLN)	Mediana (mln PLN)	P95 (mln PLN)	P (strata > 10 mln PLN)
S1. Prace podmorskie	ok. 0,12	0,84	0,50	5,20	0,06
S2. Połowy	ok. 0,08	0,28	0,10	2,35	0,02
S3. Powolne uwalnianie	ok. 0,35	1,10	0,80	3,90	0,04
S4. Sztormy/awarie	ok. 0,05	0,32	0,15	4,50	0,05
S5. Oczyszczanie i utylizacja	ok. 0,10	0,60	0,40	5,00	0,06
S6. Indywidualna eksploracja	ok. 0,07	0,45	0,25	3,10	0,03

Najwyższy średni koszt roczny (EAL) generuje S3. Powolne uwalnianie, ponieważ jest to scenariusz najbardziej prawdopodobny (korozja → ciągłe uwalnianie toksyn):

- **najwyższe ryzyko strat ekstremalnych (P95)** występuje w scenariuszach **S1, S4 i S5** – czyli tam, gdzie zdarzenia są rzadsze, ale potencjalnie katastrofalne;
- **S2 i S6** mają mniejsze wartości EAL, ale istotne znaczenie dla bezpieczeństwa ludzi (kontakt fizyczny, zatrucia załogi, nurków);
- prawdopodobieństwo strat >10 mln PLN jest niewielkie, ale niezerowe – występuje głównie w przypadkach S1, S4, S5 (głębokie naruszenie obiektów BST).

Na tym etapie zsumowano straty ze wszystkich scenariuszy w każdej z 50 000 symulacji, uzyskując łączny rozkład strat rocznych (tzw. portfel ryzyka).

W tabeli (Tabela 68) przedstawiono wyniki dla portfela scenariuszy S1–S6.

Tabela 68. Wyniki dla portfela scenariuszy S1–S6 (źródło: opracowanie własne)

Wskaźnik	Wartość
EAL – <i>Expected Annual Loss</i> (średnia strata roczna)	≈ 2,2 mln PLN
Mediana straty (50% wyników poniżej)	≈ 1,6 mln PLN
P95 – 95. percentyl strat	≈ 8,5–9,0 mln PLN
P(≥ 1 zdarzenie)	≈ 0,42
P(strata > 10 mln PLN)	ok. 0,07–0,08
P(strata > 25 mln PLN)	<0,01

Interpretacja wyników portfela:

- rocznie w ~42% przypadków pojawia się co najmniej jedno zdarzenie ze scenariuszy S1–S6 (czyli prawdopodobieństwo „straty > 0” ≈ 0,42);
- średnia roczna strata (EAL) wynosi ok. 2,2 mln PLN – jest to wartość, którą można przyjąć np. do planowania budżetu lub funduszu ryzyka;
- wartość P95 ok. 8–9 mln PLN oznacza, że w 95% symulacji straty nie przekroczą tej wartości; Może to być podstawa do definiowania rezerw finansowych lub decyzji ubezpieczeniowych;
- ryzyko ekstremalnej straty powyżej 25 mln PLN istnieje, ale jest bardzo niskie (poniżej 1%);
- portfel pokazuje, że nawet umiarkowane groźne zdarzenia, ale o wysokim prawdopodobieństwie (jak S3 – powolne uwalnianie), podnoszą znacząco wartość EAL.

Najważniejsze wnioski z analizy Monte Carlo:

- scenariusz S3 – powolne uwalnianie BST do środowiska generuje najwyższą wartość średnich strat (EAL ≈ 1,1 mln PLN), ponieważ ma najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia (korozja, degradacja obiektów);
- scenariusze S1, S4 i S5 – chociaż rzadsze – mają najwyższe ryzyko strat ekstremalnych (P95 > 4–5 mln PLN) i potencjalnie bardzo poważne skutki operacyjne/zdrowotne;
- scenariusz S6 (indywidualna eksploracja) – ma niskie prawdopodobieństwo, ale wzrasta ze względu na rozwój dronów, mikrołodzi i turystyki wrakowej;
- portfel ryzyka (S1–S6 razem):
 - EAL ≈ 2,2 mln PLN/rok,
 - P(≥ 1 zdarzenie) ≈ 42%,
 - P95 ≈ 8–9 mln PLN,
 - P(strata > 10 mln PLN) ≈ 7–8%.

W praktyce planowanie budżetu i rezerw finansowych – minimalna rezerwa powinna być > P95, czyli ok. 9 mln PLN.

Scenariusze wymagające priorytetowej kontroli:

- S3 – monitoring środowiska (osady, biota, metabolity BST);

- S1 i S5 – regulacje dla firm podmorskich, zarządzanie pracami i transportem;
- S6 – edukacja nurków, kontrola dronów i sonarów amatorskich.

Największy wpływ na minimalizację strat mają:

- wczesna detekcja skażenia (monitoring sonarowy, UAV, sensory chemiczne);
- skuteczna mitygacja (dekontaminacja, odgrodzenie sektora, szybka reakcja SAR/EOD);
- edukacja i procedury „nie dotykaj/zgłoś/izoluj”.

6.1.1 Wnioski

W perspektywie krótkoterminowej największe ryzyko stwarzają prace podmorskie oraz aktywność rybacka z użyciem narzędzi dennych. Ryzyko to jest powtarzalne i może prowadzić do narażenia ludzi na kontakt z iperytem oraz do lokalnych skażeń osadów. Powolne, rozproszone uwalnianie produktów degradacji BST/MW stanowi ryzyko przewlekłe i wymaga systematycznego monitoringu środowiska. Epizody sztormowe i awarie jednostek pływających mogą odsłaniać lub przemieszczać obiekty, tworząc krótkotrwałe, ale istotne punkty skażeń.

Kolejnym problemem jest brak spójnej, stale aktualizowanej mapy ryzyka z warstwami ograniczeń operacyjnych dla inwestorów i rybołówstwa. Brak jest jednoznacznych procedur koordynujących działania między administracją morską, służbami EOD/SAR, portami i ośrodkami naukowymi oraz brak przepisów regulujących współpracę w tym zakresie.

Aktualny monitoring osadów i bioty jest rozproszony i niewystarczająco ukierunkowany na obszary największego ryzyka. Zmiany klimatyczne mogą przyspieszać mobilizację zanieczyszczeń i zwiększać niepewność oceny ryzyka.

Ryzyko reputacyjne dla regionu i sektora morskiego rośnie wraz z nagłościeniem incydentów i brakiem spójnej komunikacji ryzyka.

Wdrażanie podejścia ALARP wymaga uszczelnienia praktyk na etapie pozwoleń i prowadzenia robót. Niewystarczające są mechanizmy szybkiego przeglądu tras kabli, rurociągów i miejsc wbicia pali w reakcji na nowe dane o anomaliiach. Niezbędne jest włączanie wyników badań i rekonesansów do systemów nawigacyjnych i planistycznych w czasie bliskim rzeczywistości. Wzrost aktywności inwestycyjnej w regionie zwiększa prawdopodobieństwo kontaktu z obiektami zawierającymi BST. Brakuje sprawdzonych w praktyce algorytmów reagowania obejmujących izolację, rozpoznanie, decyzję i dekontaminację. Braki w danych o rozmieszczeniu obiektów wynikają z rozbieżności historycznych i ograniczeń metod detekcji. Problem stanowi brak wypełniania postanowień/rozporządzeń dyrektorów urzędów morskich dotyczących zasad postępowania z wyłowioną amunicją chemiczną. Porty i punkty wyładunkowe nie zawsze mają czytelne instrukcje postępowania w razie podejrzenia kontaktu z BST.

Odnosząc się do analizy długoterminowej, trzeba zaznaczyć, że perspektywie 30 lat nie należy spodziewać się naturalnego zmniejszania ryzyka – wręcz przeciwnie. Proces korozji zasobników będzie postępował, a część z nich może ulec rozszczelnieniu, zwiększając uwalnianie toksycznych substancji do osadów i toni wodnej. W miarę jak materiały metalowe osiągną krytyczny poziom degradacji, prawdopodobieństwo punktowych incydentów będzie rosnąć. Działalność człowieka na morzu –

budowa farm wiatrowych, układanie kabli energetycznych, rozbudowa portów czy intensyfikacja rybołówstwa – będzie coraz częściej wchodzić w konflikt z obszarami, gdzie znajduje się niebezpieczna amunicja. Oznacza to wzrost szans na niezamierzone naruszenie obiektów lub wzburzenie skażonych osadów.

Zmiany klimatyczne stanowią dodatkowy czynnik przyspieszający uwalnianie substancji niebezpiecznych. Silniejsze sztormy, dłuższe okresy niedotlenienia wód i przydenne zakwaszenie mogą zwiększać mobilność substancji niebezpiecznych. Jednocześnie utrudnią przewidywanie ich migracji i ograniczą skuteczność tradycyjnych modeli ryzyka. Pojawiają się także nowe źródła zagrożeń – rosnąca liczba rekreacyjnych nurków, operatorów dronów podwodnych i mikrołodzi eksploracyjnych zwiększy prawdopodobieństwo przypadkowego kontaktu z substancjami toksycznymi. Problem zacnie dotyczyć nie tylko sektora wojskowego czy naukowego, ale również turystyki, mediów i opinii publicznej. Wystarczy jeden poważniejszy incydent, by straty finansowe i reputacyjne dotknęły lokalne porty, sektor rybołówstwa i inwestycje energetyczne.

Dlatego najbliższe lata będą kluczowe dla zbudowania systemu zarządzania ryzykiem, który obejmie monitoring środowiska, mapowanie zagrożeń, szkolenia oraz procedury reagowania. Taki system powinien działać nie tylko przy incydentach, ale również na co dzień – jako element administracji morskiej, planowania inwestycji i nadzoru nad eksploatacją morza. Podstawą jest stałe monitorowanie dna morskiego oraz osadów w rejonach ryzyka, szczególnie tam, gdzie występują zanieczyszczenia chemiczne, hipoksja lub rozwijają się inwestycje offshore. Procesy te prowadzone powinny być w sposób ciągły, a wyniki badań automatycznie uwzględniane w mapach ryzyka i przekazywane instytucjom odpowiedzialnym za pozwolenia i kontrolę morską, czyli do Urzędów Morskich.

6.2 Rekomendacje

Nadrzędną regułą planowania, monitorowania i reagowania, w celu wyeliminowania nagłych, nieprzewidzianych zdarzeń na każdym etapie – od prewencji po działania ratownicze – jest reguła „zero zaskoczeń” dla wszystkich prac podmorskich. Ponadto na etapie wydawania pozwoleń na prowadzenie prac morskich należy bezwzględnie wymagać planów obejścia anomalii i gotowości do procedury *stop-work* oraz wezwania EOD. Ponadto konieczne jest opracowanie i utrzymywanie w aktualizacji, przez administrację morską, cyfrowej mapy ryzyka z warstwami stref „no-go” i „caution” zintegrowanej z systemami nawigacyjnymi, a także obowiązkowe wykorzystanie jednolitego kanału alarmowego dla rybaków i jednostek technicznych z szybką eskalacją do EOD/SAR. Tym samym konieczne jest uruchomienie portowego programu dla rybołówstwa: szkolenia, karty procedur, ŚOI i zestawy dekontaminacyjne.

Konieczne jest również opracowanie stałej siatki monitoringu osadów i elementów biotycznych środowiska w nowo zidentyfikowanych rejonach, gdzie wykryto obiekty niebezpieczne.

Dodatkowo należałoby na bieżąco aktualizować modele dyspersji i publikować raport środowiskowy dla interesariuszy. Po epizodach pogodowych mających wpływ na przemieszczenia obiektów niebezpiecznych niezbędne jest wdrożenie procedury szybkich rekonesansów dna, a w przypadku stwierdzenia anomalii wydawanie ostrzeżenia AtoN wraz z czasowymi zamknięciami rejonów.

Należy również zdefiniować minimalne wymagania audytowe dla wykonawców oczyszczania i transportu BST/MW, a także budować stałe forum koordynacyjne z udziałem administracji, EOD, SAR, portów i instytutów naukowych.

Zasadna byłaby też realizacja co najmniej dwóch ćwiczeń rocznie: stołowego i terenowego z elementami dekontaminacji i wsparcia medycznego oraz wdrożenie systemu zgłoszeń i rejestru „near-miss” dla wszystkich użytkowników morza w rejonie.

Ponadto należy zrealizować niżej wymienione działania:

- wywiesić w portach czytelne instrukcje postępowania i kontakty alarmowe dla załóg;
- zapewnić finansowanie na cykliczne przeglądy istniejących i planowanych tras kabli i rurociągów po aktualizacji map ryzyka;
- skorelować harmonogramy inwestycji z oknami pogodowymi i wynikami monitoringu;
- stosować zasadę ALARP, dokumentując decyzje o akceptacji ryzyka i dowody mitygacji;
- utworzyć kanał komunikacji ryzyka dla opinii publicznej, by ograniczać straty reputacyjne;
- wprowadzić minimalne standardy ŚOI i dekontaminacji dla wszystkich jednostek pracujących w rejonie;
- zdefiniować KPI i prowadzić kwartalne przeglądy skuteczności, korygując działania.

W perspektywie do 2030 r. powinny zostać wdrożone trzy kluczowe elementy: cyfrowa mapa stref ryzyka dostępna dla administracji, inwestorów i służb nawigacyjnych; jednolity system zgłaszania znalezisk i incydentów (zarówno przez rybaków, jak i jednostki techniczne); oraz obowiązek przeprowadzania rekonesansu dna morskiego przed rozpoczęciem każdej inwestycji ingerującej w dno morskie. Równolegle należy zwiększać świadomość użytkowników morza. Powinni oni wiedzieć, jak rozpoznać podejrzany przedmiot, jak się zachować w razie kontaktu z substancją i do kogo zgłosić sytuację.

W kolejnej dekadzie (2030–2040) głównym celem powinno być usprawnienie obiegu informacji: od monitoringu morskiego do decyzji administracyjnych. Dane z sonarów, dronów, badań osadów czy zgłoszeń rybackich muszą trafiać do jednego systemu, w którym będą analizowane i porównywane ze starszymi pomiarami. W tym czasie warto też rozpocząć prace nad punktową neutralizacją najbardziej ryzykownych obiektów zgodnie z zasadą najlepszej dostępnej technologii (BAT) – nie przez masowe wydobywanie broni chemicznej, ale poprzez zabezpieczanie lub sarkofagowanie pojedynczych miejsc, w których ryzyko naruszenia jest wysokie.

Po 2040 r. akcenty przesuną się z tworzenia systemu na jego utrzymanie i doskonalenie. Powinny funkcjonować stałe procedury monitoringu, reagowania i szkoleń, a współpraca między państwami regionu Bałtyku – szczególnie w ramach HELCOM – powinna być zdecydowanie bardziej operacyjna niż symboliczna. Jeżeli wcześniej rozpoczęto punktowe zabezpieczanie najbardziej niebezpiecznych lokalizacji, to po 2040 r. będzie możliwe przejście do fazy regularnego utrzymania i długookresowego monitoringu tych miejsc.

Cały proces, jeśli ma być skuteczny, musi być oparty na zasadzie ALARP – ryzyko nie może być wyłączone całkowicie, ale musi być ograniczone „tak bardzo, jak to jest rozsądnie możliwe”, biorąc pod uwagę

aspekty techniczne, finansowe oraz społeczne. Musi się to odbywać przy transparentności działań, jasnym podziale odpowiedzialności i regularnym raportowaniu wyników. W przeciwnym razie, problem pozostawiony sam sobie – w dobie korozji, rosnącej aktywności człowieka i zmian klimatu – może zmienić się z historycznego dziedzictwa w realne, kryzysowe zagrożenie ekologiczne i zdrowotne.

6.3 Zarządzanie ryzykiem

Zarządzanie ryzykiem związanym z amunicją chemiczną i konwencjonalną stanowiącą potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska morskiego ma charakter wieloetapowy i opiera się na zasadach określonych w międzynarodowych standardach, takich jak ISO 31000 (ISO, 2009) oraz wytycznych Formal Safety Assessment (IMO, 2002). Proces ten obejmuje całość działań – od identyfikacji zagrożeń, poprzez ocenę ryzyka, aż po planowanie i wdrażanie działań prewencyjnych lub naprawczych (Rysunek 30) w tym:

- ustalenie kontekstu (m.in. zakres prac i cele; identyfikacja interesariuszy, warunków środowiskowych i technicznych);
- identyfikację czynników ryzyka/zagrożeń chemicznych, biologicznych, fizycznych (obecność amunicji chemicznej i konwencjonalnej, BST i MW, stan techniczny amunicji) i innych czynników zewnętrznych;
- analizę ryzyka w celu oceny prawdopodobieństwa wystąpienia oraz zrozumienia potencjalnego wpływu, które przedstawiono w powyższym podrozdziale.

Proces zarządzania ryzykiem w odniesieniu do amunicji



Rysunek 30. Schemat procesu zarządzania ryzykiem w odniesieniu do amunicji (źródło: opracowanie własne)

Ta struktura zapewnia podstawę do podejmowania decyzji w warunkach niepewności, co jest kluczowe w przypadku zalegania amunicji, gdzie dane mogą być ograniczone (typ, stan techniczny, ilość i jakość materiałów niebezpiecznych).

Wnioski z oceny ryzyka, jak również szczegółowe rekomendacje dot. planowania, monitorowania i reagowania zostały przedstawione w Części II PNZ.

CZĘŚĆ II

7 WYNIKI BADAŃ — PODSUMOWANIE I REKOMENDOWANA STRATEGIA POSTĘPOWANIA

7.1 Opis stanu obszaru

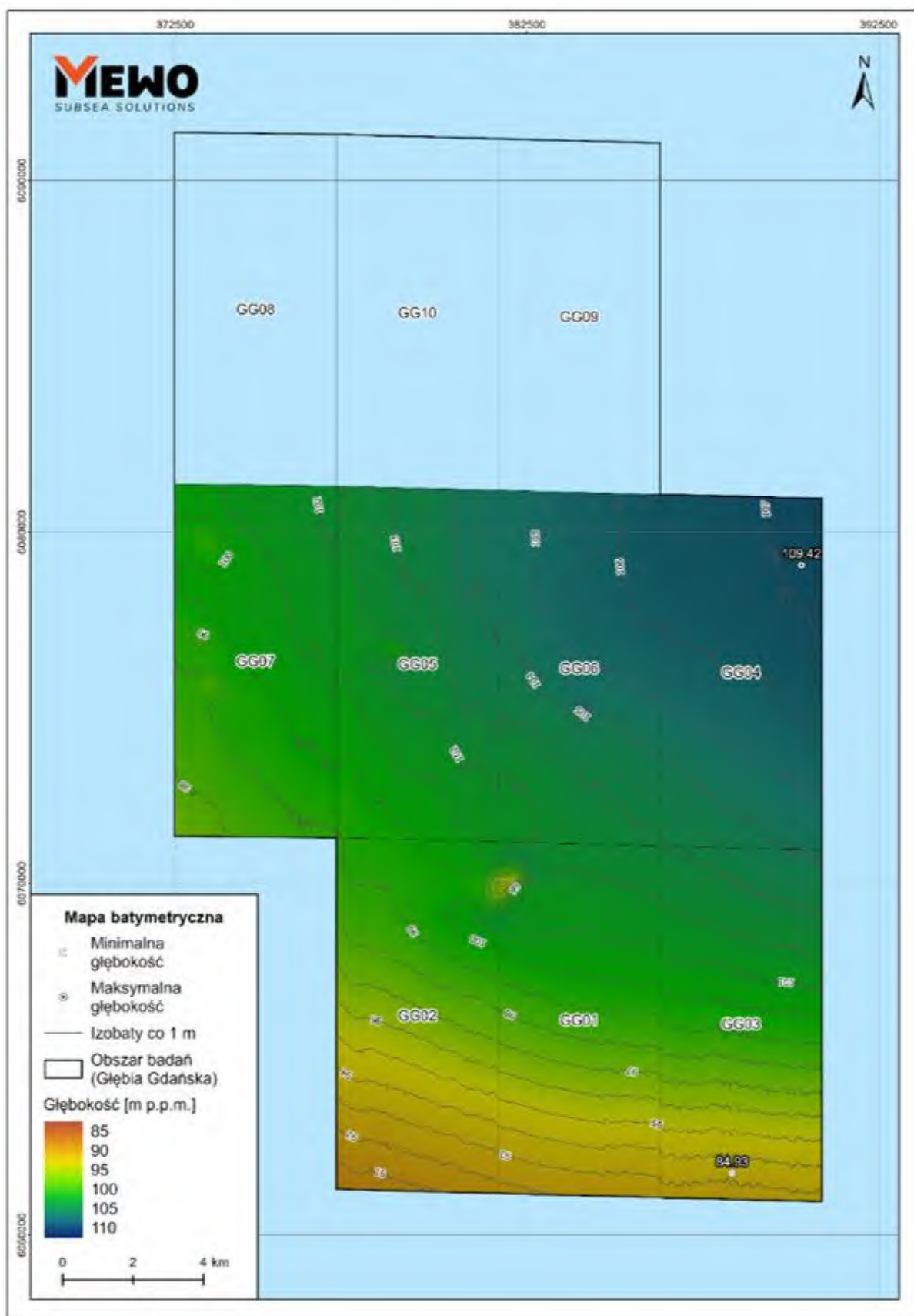
Badania przeprowadzone w latach 2025–2026 pozwoliły na szczegółowe rozpoznanie obszaru oraz zidentyfikowanie i ocenę zagrożenia ze strony zatopionych materiałów niebezpiecznych.

Powierzchnia dna Obszaru badań jest lekko nachylona w kierunku północno-wschodnim. Głębokość morza wynosi od 90 m w części południowej analizowanego obszaru do 109 m w jego północno-wschodniej części.

Powierzchnia dna Obszaru badań jest wyrównana, miejscami lekko falista, ma charakter równiny akumulacyjnej. Tylko w miejscach wzniesień, obecnych w centrum i w północno zachodniej części obszaru, powierzchnia dna jest nierówna, z widocznymi mocno zatartymi śladami po górach lodowych.

Na przeważającej części obszaru widoczne są liczne, niemal prostolinijne zagłębienia (ślady trałowania) o głębokości od kilku do kilkunastu centymetrów – obszar Głębi Gdańskiej tradycyjnie jest ważnym łowiskiem dorsza.

Niemal cała powierzchnia dna analizowanego Obszaru badań zbudowana jest z osadów mulistych i mulisto-piaszczystych. Tylko formy wzniesień, wybrzuszeń, obecne w rzeźbie centralnej i zachodniej części obszaru, zbudowane są z osadów glacialnych z brukiem i pojedynczymi głazami na powierzchni.



Rysunek 31. Mapa batymetryczna obszaru Głębia Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)

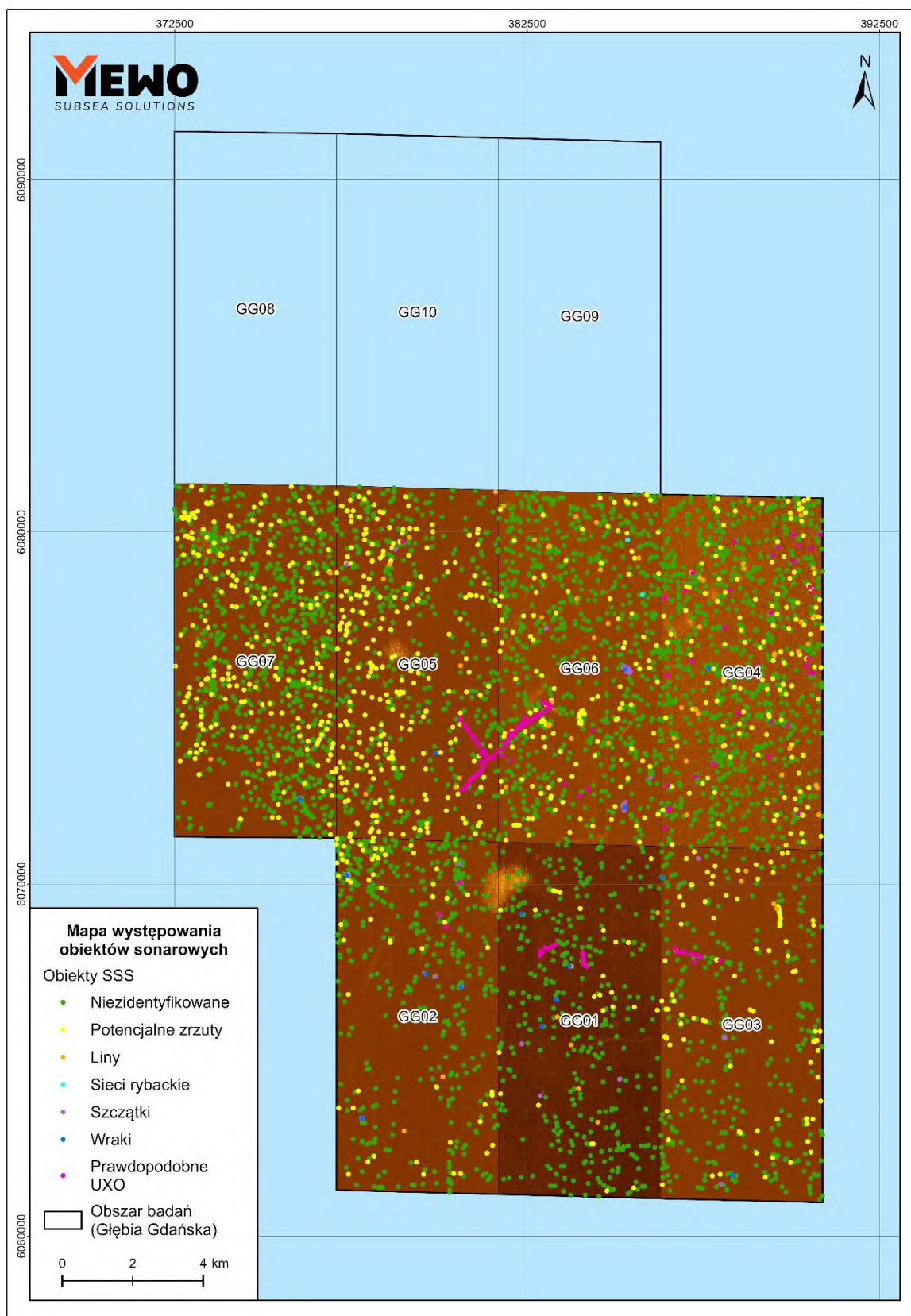
Na podstawie analizy danych sonarowych i batymetrycznych wyszczególniono ok. 5500 obiektów, różnego rodzaju i pochodzenia, znajdujących się na dnie Obszaru badań. Zidentyfikowano 192 obiekty typu prawdopodobne UXO (pUXO), 15 wraków, 50 skupisk szczątków oraz ponad 966 lokalizacji potencjalnych zrzutów (Tabela 69).

Tabela 69. Klasyfikacja obiektów znajdujących się na dnie obszaru Głębia Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)

Typ obiektu	Definicja / kryteria klasyfikacji*	Liczba obiektów
Lina	Podłużny cienki obiekt, zazwyczaj cumy, liny W danych sonarowych obiekt identyfikowany jako długi wąski element, zazwyczaj łagodnie powyginany, często z dopłatany innymi elementami (np. sieci); może być nieciągły poprzez przykrycie fragmentu obiektu osadem.	72
Niezidentyfikowany	Prawdopodobny obiekt, trudny do wskazania rodzaj obiektu, w tym obiekty naturalne (głazy) W danych sonarowych obiekt identyfikowany jako pojedynczy element; kształt owalny do nieregularnego sugerujący identyfikację jako obiekt naturalny (głaz) lub kształt prosty, regularny, sugerujący identyfikację jako obiekt antropogeniczny (trudny do wskazania typ obiektu).	4217
Szcątki	Szcątki, zazwyczaj powiązane z wrakiem W danych sonarowych obiekt identyfikowany jako grupa elementów, wśród nich elementy proste, o różnej długości, zalegające na dnie w skupisku, ale chaotycznie rozmieszczone, regularne, proste kształty elementów w skupisku sugerują ich antropogeniczne pochodzenie.	50
Wrak	W danych sonarowych obiekt identyfikowany jako pojedynczy element lub grupa elementów, wśród nich elementy proste, o różnej długości, zalegające na dnie; kształt obiektu (i jego rozmiar), lub skupiska obiektów, przypominające wrak statku lub fragment wraku statku; często kształt zaoblony lub miejscami zaoblony, poprzez obecność na obiekcie zahaczonych sieci rybackich.	15
Potencjalne zrzuty	Obniżenie w powierzchni dna, które mogło powstać w wyniku upadku obiektu pochodzenia antropogenicznego, wraz z tym obiektem wewnątrz zagłębienia	966
Prawdopodobne UXO	Podejrzenie obiektu UXO W danych sonarowych obiekt identyfikowany jako pojedynczy, prosty element; regularny, prosty kształt sugerujący jego antropogeniczne pochodzenie.	192

* główne kryteria klasyfikacji, która w znacznej mierze opiera się na wiedzy eksperckiej i doświadczeniu interpretatora

Lokalizację wytypowanych obiektów w podziale na poszczególne kategorie przedstawiono na rysunku (Rysunek 32).

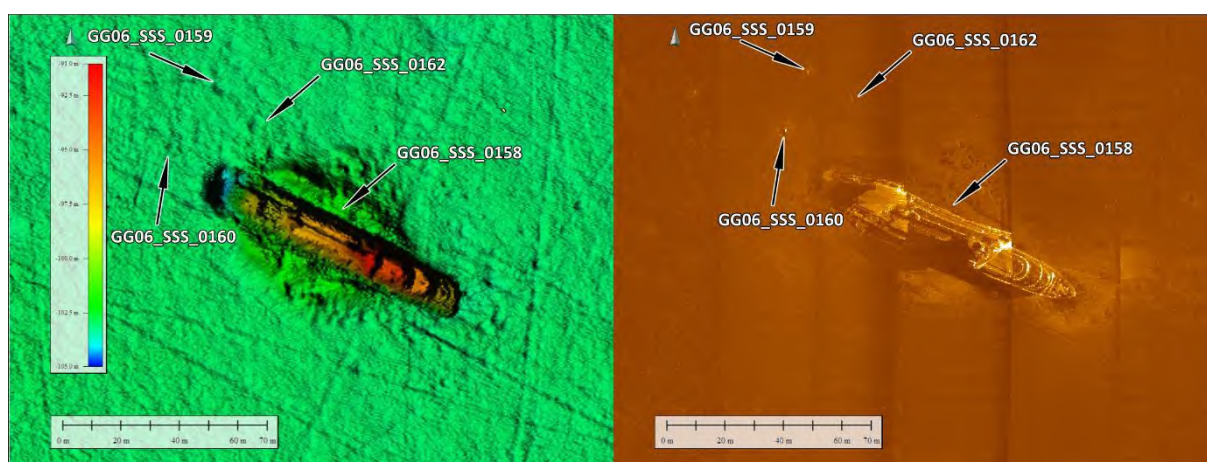


Rysunek 32. Mapa występowania obiektów na dnie obszaru Głębia Gdańska (źródło: Badania 2025–2026)

Zidentyfikowane wraki, szczątki i prawdopodobne UXO

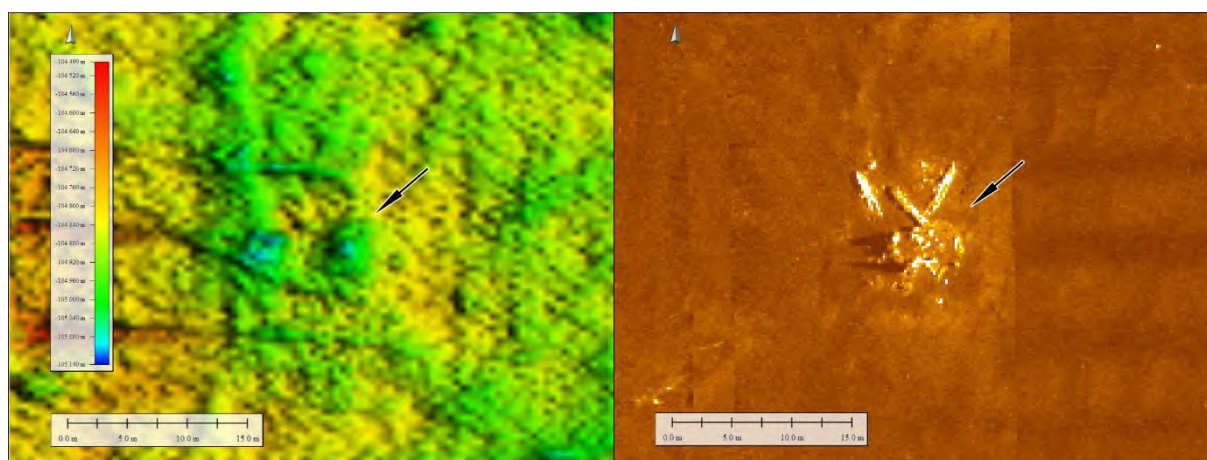
W trakcie badań geofizycznych wykonanych w ramach Badań 2025–2026 zidentyfikowano 15 obiektów zaklasyfikowanych jako wraki, 50 skupisk szczątków o charakterze antropogenicznym oraz 192 prawdopodobnych UXO. Obiekty te zostały rozpoznane na podstawie interpretacji danych sonarowych i batymetrycznych. Obiekty te rozpoznano na siedmiu arkuszach badawczych obejmujących obszar Głębi Gdańskiej.

Spośród rozpoznanych wraków 12 obiektów zostało powiązanych z wrakami ujętymi w bazie SIPAM. Są to wraki oznaczone jako WK-0157, WK-0396, WK-0397, WK-0563, WK-0394, WK-0398, WK-0565, WK-0158, WK-0564, WK-0156, WK-0159 Fryderyk Engels (Rysunek 33) oraz WK-0519. Wraki te nie stanowią dziedzictwa kulturowego ani nie stwarzają zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi.



Rysunek 33. Wrak zidentyfikowany jako WK-0159 Fryderyk Engels oraz szczątki; po lewej stronie fragment mapy batymetrycznej, po prawej stronie fragment mozaiki sonarowej (źródło: Badania 2025–2026)

Rozpoznane wraki reprezentują zróżnicowany stopień zachowania. Część z nich jest niemal całkowicie zagłębiona w osadach i nie wystaje ponad otaczającą powierzchnię dna, podczas gdy inne zachowały znaczną wysokość względną. W sąsiedztwie części wraków zidentyfikowano również skupiska szczątków interpretowane jako fragmenty konstrukcji lub rozproszone elementy wyposażenia (Rysunek 34).



Rysunek 34. Przykładowy obiekt – szczątki; po lewej stronie fragment mapy batymetrycznej, po prawej stronie fragment mozaiki sonarowej (źródło: Badania 2025–2026)

Zakwalifikowania wykrytych obiektów jako prawdopodobne obiekty UXO dokonano na podstawie oceny ich kształtu, wymiarów (długości, szerokości i wysokości), po konsultacji ze specjalistami nurkami minerami.

W celu weryfikacji badań geofizycznych i oceny stanu technicznego wraków, skupisk szczątków oraz obiektów zidentyfikowanych jako potencjalne UXO w dalszej części badań dokonano inspekcji wizyjnej za pomocą ROV.

Wyniki badań chemicznych w kierunku obecności związków ropopochodnych oraz WWA

W ramach badań 2025–2026 przeprowadzono analizy chemiczne próbek wód przydennych oraz osadów dennych pod kątem obecności związków ropopochodnych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Uzyskane wyniki nie wskazują na występowanie aktywnych źródeł zanieczyszczeń w wodach przydennych, które można byłoby jednoznacznie powiązać ze zidentyfikowanymi obiektami antropogenicznymi, w tym wrakami. Jednocześnie badania osadów dennych potwierdziły podwyższoną zawartość węglowodorów ropopochodnych i WWA, charakterystyczną dla głębokowodnego, akumulacyjnego środowiska Głębi Gdańskiej.

W wodach przydennych stężenia metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn oraz Hg) mieściły się w zakresie wartości typowych dla południowego Bałtyku i nie przekraczały obowiązujących środowiskowych norm jakości. W odniesieniu do kadmu, ołowiu, niklu i rtęci nie stwierdzono przekroczeń maksymalnych dopuszczalnych stężeń (MAC-EQS). Również zawartość związków ropopochodnych w wodach przydennych była bardzo niska – część wyników znajdowała się poniżej granicy oznaczalności metody ($<0,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), a w pozostałych próbkach oznaczone stężenia indeksu oleju mineralnego nie przekraczały $0,07 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Na stacjach referencyjnych wartości mieściły się w zakresie od $<0,01$ do $0,05 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Stężenia sumy 16 WWA w wodach przydennych były niewielkie i w większości przypadków kształtowały się na poziomie od wartości poniżej granicy oznaczalności do wartości rzędu tysięcznych lub setnych części $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. W arkuszu GG01 suma 16 WWA mieściła się w zakresie od $<0,00017$ do $0,044 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$, w GG02 od $<0,00017$ do $0,021 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$, w GG04 od $<0,00017$ do $0,014 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$, w GG05 od $<0,00017$ do $0,087 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$, a w GG06 od $0,00024$ do $0,010 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższą wartość odnotowano w obrębie arkusza GG05. Stężenia oznaczone w punktach referencyjnych były zasadniczo zbieżne z wartościami uzyskanymi w pozostałych punktach pomiarowych, co nie wskazuje na obecność lokalnego źródła zanieczyszczeń WWA w wodzie przydennej możliwego do jednoznacznego powiązania ze zidentyfikowanymi wrakami lub innymi obiektami antropogenicznymi.

Analizy WWA wykazały powszechną obecność tej grupy związków w powierzchniowych osadach dennych Głębi Gdańskiej. Wyniki wskazują na podwyższoną zawartość WWA w stosunku do wartości literaturowych dla południowego Bałtyku oraz Zatoki Gdańskiej. Przekroczenia wartości granicznych stwierdzono dla większości analizowanych związków, przy czym we wszystkich arkuszach GG01–GG07 wystąpiły przekroczenia dla indeno(1,2,3-cd)pirenu, benzo(b)fluorantenu oraz benzo(g,h,i)perylenu. Największą liczbę przekroczeń oraz najwyższe stężenia WWA odnotowano w obrębie arkusza GG04, gdzie suma 16 WWA osiągnęła maksymalnie $57,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a przekroczenia stwierdzono dla wszystkich analizowanych wskaźników.

Przestrzenne zróżnicowanie stężeń WWA wskazuje na lokalne zróżnicowanie intensywności ich akumulacji w osadach. Podwyższone zawartości tych związków należy jednak rozpatrywać w kontekście ogólnej charakterystyki Głębi Gdańskiej jako obszaru akumulacji materii zawieszanej, materii organicznej i zanieczyszczeń hydrofobowych. Wyniki badań wskazują, że podwyższone stężenia WWA są efektem zarówno presji antropogenicznej oddziałującej na rejon Zatoki Gdańskiej, jak i naturalnych warunków sedymentacyjnych oraz tlenowych sprzyjających długotrwałej akumulacji tych związków w osadach dennych.

Wyniki badań chemicznych w kierunku obecności BST lub produktów rozpadu BST

Badania na obecność bojowych środków trujących, materiałów wybuchowych oraz produktów ich degradacji w środowisku morskim miały potwierdzić występowanie broni chemicznej oraz UXO i/lub AXO na badanym obszarze Głębi Gdańskiej.

W tym celu przeprowadzono badania laboratoryjne osadów dennych pod kątem obecności wybranych BST, MW oraz produktów ich degradacji, będących jednocześnie substancjami wskaźnikowymi obecności broni chemicznej i konwencjonalnej w badanym rejonie. Badania prowadzono w kierunku zidentyfikowania: iperytu siarkowego, adamsytu, Clark I, Clark II, trifenyloarsyny, fenyldichloroarsyny, chloroacetofenonu, luizytu I, luizytu II oraz trotylu. Zestawienie badanych związków chemicznych oraz zastosowanych technik analitycznych przedstawiono w tabeli (Tabela 70).

Tabela 70. Zestawienie badanych związków chemicznych z granicą oznaczalności (źródło: Badania 2025–2026)

Związek	Akronim	CAS	Technika analityczna	Granica wykrywalności (LOD) [ng/g]	Granica oznaczalności (LOQ) [ng/g]	Uwagi
Iperyt siarkowy	HD	505-60-2	GC-MS/MS	0,02	0,05	
Tiodiglikol	TDG	111-48-8	LC-MS/MS	0,44	1,31	
Sulfotlenek tiodiglikolu	TDGO	3085-45-8	LC-MS/MS	0,01	0,04	
1,4-Ditian	1,4-DT	505-29-3	GC-MS/MS	0,05	0,15	
1,4-Oksatian	1,4-OT	15980-15-1	GC-MS/MS	0,05	0,15	
1,4,5-Oksaditiepan	1,4,5-ODTE	3886-40-6	GC-MS/MS	0,02	0,05	
1,2,5-Tritiepan	1,2,5-TTP	6576-93-8	GC-MS/MS	0,05	0,15	
Kwas tiodiglikolowy	TDGA	123-93-3	LC-MS/MS	0,71	2,12	
Adamsyt	DM	578-94-9	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Kwas fenarsazynowy	PAA	4733-19-1	LC-MS/MS	0,18	0,55	
Clark I	DA	712-48-1	GC-MS/MS	0,83	2,50	
Clark II	DC	23525-22-6	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Kwas difenyloarsynowy	DPAA	4656-80-8	LC-MS/MS	1,47	4,41	
Difenylopropylotioarsyna	DPTA	17544-92-2	GC-MS/MS	0,05	0,15	Sumaryczne oznaczenie DA i DC i produktów jego rozkładu
Trifenyloarsyna	TPA	603-32-7	GC-MS/MS	1,00	3,00	

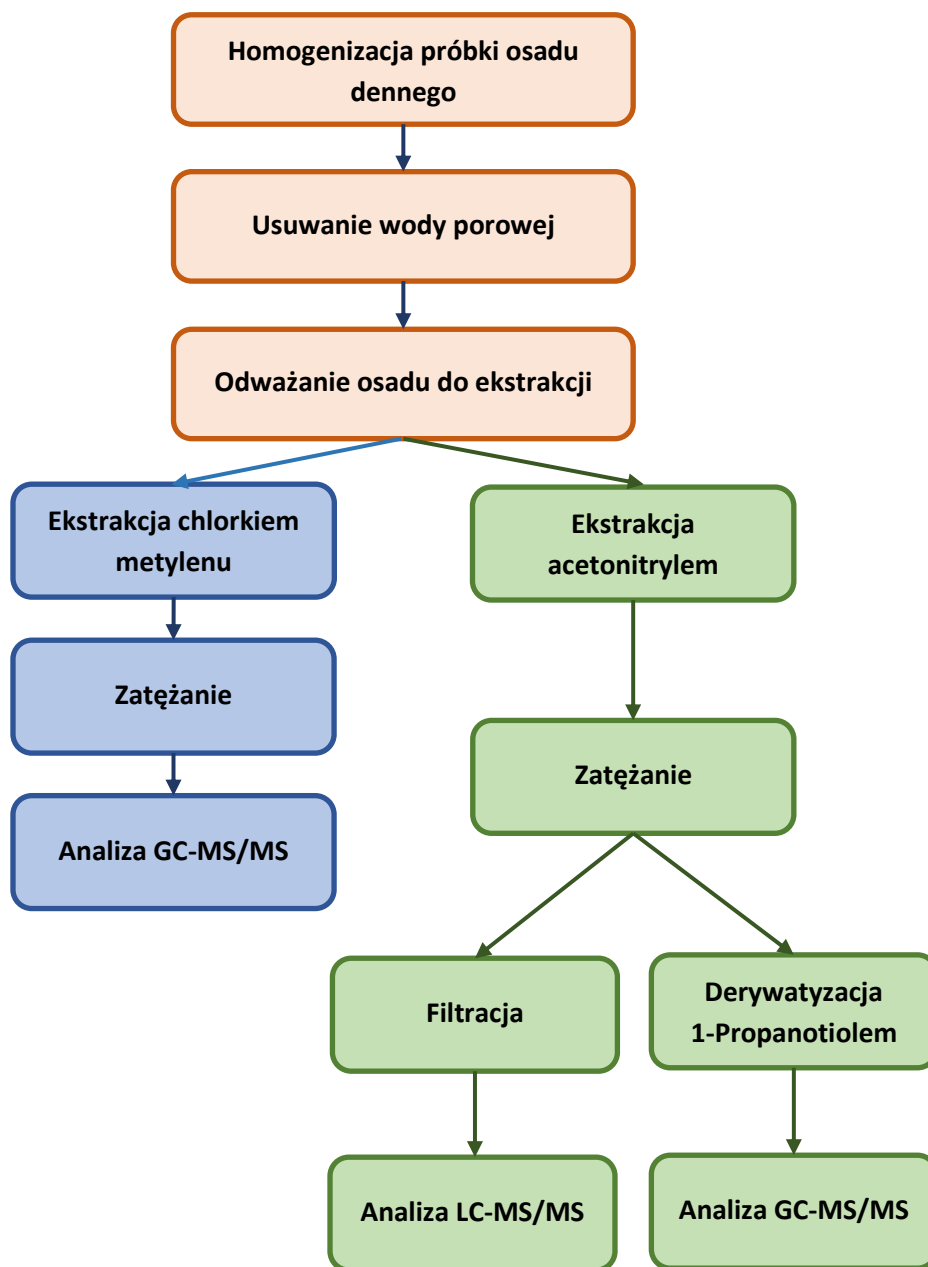
Związek	Akronim	CAS	Technika analityczna	Granica wykrywalności (LOD) [ng/g]	Granica oznaczalności (LOQ) [ng/g]	Uwagi
Tlenek trifenylloarsyny	TPAO	1153-05-5	LC-MS/MS	0,13	0,38	
Fenylodichloroarsyna	PDCA	696-28-6	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Kwas fenylloarsonowy	PAA	98-05-5	LC-MS/MS	0,75	2,25	
Fenylodipropyltioarsyna	PDPTA	1776-69-8	GC-MS/MS	0,03	0,10	Sumaryczne oznaczenie PDCA i produktów jego rozkładu
Chloroacetofenon	CN	532-27-4	GC-MS/MS	0,02	0,05	
Luizyt I	L1	541-25-3	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Kwas 2-Chlorowinyloarsonowy	CVAA	64038-44-4	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
(2-chlorowinylo)-dipropyltioarsyna	CVDPTA	677354-97	GC-MS/MS	0,08	0,25	Sumaryczne oznaczenie L1 i produktów jego rozkładu
Luizyt II	L2	40334-69-8	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Kwas bis(2-chlorowinylo)-arsynowy	BCVAA	157184-21-9	N.A.	N.A.	N.A.	Nieanalizowany w tej postaci
Bis(2-chlorowinylo)propyltioarsyna	BCVPTA	677355-04-3	GC-MS/MS	0,08	0,25	Sumaryczne oznaczenie L2 i produktów jego rozkładu
2,4,6-Trinitrotoluen	TNT	118-96-7	GC-MS/MS	0,03	0,10	
4-Nitrotoluen	NT	99-99-0	GC-MS/MS	0,003	0,01	
1,3-Dinitrobenzen	DNB	99-65-0	GC-MS/MS	0,02	0,05	
1,3,5-Trinitrobenzen	TNB	99-35-4	GC-MS/MS	0,02	0,05	
2,4-Dinitrotoluen	2,4-DNT	121-14-2	GC-MS/MS	0,05	0,15	
2,6-Dinitrotoluen	2,6-DNT	606-20-2	GC-MS/MS	0,05	0,15	
2,4-Dinitroanilina	2,4-DNA	97-02-9	GC-MS/MS	0,08	0,25	
4-Amino-2,6-dinitrotoluen	4-A-2,6-DNT	19406-51-0	GC-MS/MS	0,52	1,55	
2-Amino-4,6-dinitrotoluen	2-A-4,6-DNT	35572-78-2	GC-MS/MS	0,52	1,55	

Jakościowe i ilościowe analizy próbek osadów dennych wykonano przy użyciu aparatury firmy Thermo Fisher Scientific, w zależności od oznaczanego związku chemicznego:

- ekstrakty w chlorku metylenu: analizowano metodą GC-MS/MS za pomocą chromatografu gazowego Trace 1310 sprzężonego z tandemowym detektorem mas 8000 Evo, pod kontrolą oprogramowaniem Chromeleon 7.3;

- ekstrakty acetonitrylowe: analizowano metodą LC-HRMS za pomocą chromatografu cieczonego Vanquish Core sprzężonego z wysokorozdzielczym spektrometrem mas Exploris 120, sterowanego oprogramowaniem Xcalibur 4.3.

Na rysunku (Rysunek 35) przedstawiono schemat przygotowania próbek do analizy chromatograficznej.



Rysunek 35. Schemat przygotowania próbek do analizy chromatograficznej (źródło: Badania 2025–2026)

W próbkach osadów dennych dla analizowanego rejonu Głębi Gdańskiej nie wykryto obecności bojowych środków trujących oraz trotylu na poziomach powyżej granicy oznaczalności tych związków w zastosowanych metodach analitycznych.

Zidentyfikowano natomiast przynajmniej jeden z analizowanych związków w 9 ze 147 poddanych analizie próbek osadów dennych. Wszystkie zidentyfikowane związki chemiczne stanowiły potencjalne

produkty degradacji BST, lecz ostatecznie nie musiały dowodzić obecności broni chemicznej lub konwencjonalnej w rejonie, z którego zostały pobrane próbki do analizy.

5 próbek zawierało związki siarkoorganiczne, mogące wskazywać na obecność iperytu siarkowego. Były to:

- kwas tiodiglikolowy – próbka GG_VV_025_b;
- tiodiglikol i sulfotlenek tiodiglikolu – próbka GG_VV_167UM_b;
- 1,4,5-oksaditiepan – próbka GG_VV_080_b;
- tiodiglikol – próbka GG_VV_090_b;
- 1,4-ditian – próbka GG_VV_121_b.

4 próbki zawierały związki arsenoorganiczne, mogące wskazywać na obecność: adamsytu, Clark I, trifenyloarsyny, fenylodichloroarsyny lub arsen öl.

Były to:

- trifenyloarsyna, kwas difenyloarsynowy i tlenek trifenyloarsyny – próbka GG_VV_120_b;
- trifenyloarsyna – próbka GG_VV_148UM_b;
- kwas fenarsazynowy – próbka GG_VV_078_b;
- kwas difenyloarsynowy – próbka GG_VV_082_b.

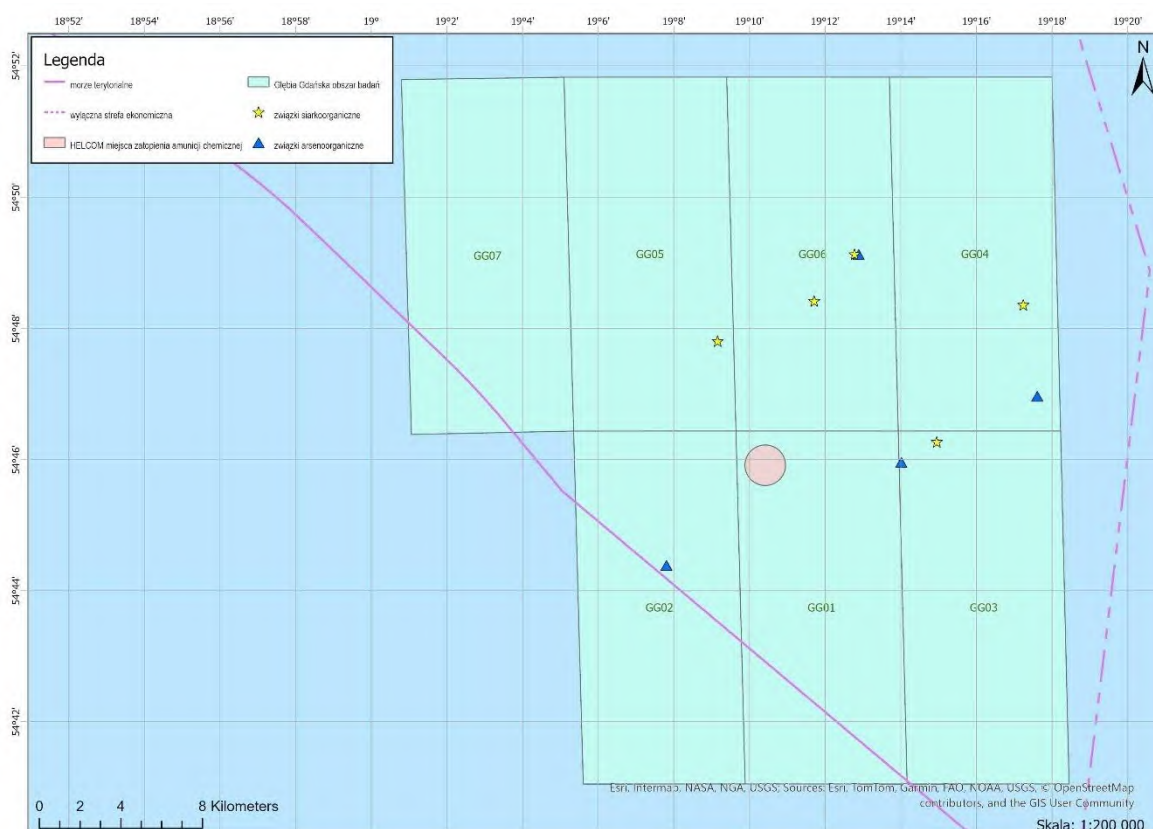
Nie zidentyfikowano związków chemicznych mogących stanowić produkty degradacji: chloroacetofenonu i luizytu II.

W żadnej badanej próbce nie wykryto związków chemicznych mogących stanowić produkt degradacji trotylu w środowisku morskim.

Nieobecność bojowych środków trujących powyżej granicy oznaczalności metody analitycznej przy jednoczesnym wykryciu produktów ich degradacji jest wynikiem typowym i oczekiwanym w badaniach osadów dennych z rejonów bałtyckich, gdzie amunicja zalega prawie od 80 lat (Greenberg i in., 2015; Vanninen i in., 2020). Głównymi czynnikami determinującymi szybkość hydrolizy BST w środowisku morskim są: temperatura wody przydennej, zasolenie, pH oraz warunki redoks na granicy woda-osad (Scharsack i in., 2021).

Brak wykrycia TNT i jego produktów degradacji we wszystkich 147 próbkach nie wyklucza obecności tego związku w środowisku Głębi Gdańskiej. Badania przeprowadzone w akwenie południowo-zachodniego Bałtyku, w rejonach o potwierdzonej obecności broni konwencjonalnej, wykazały, że TNT, RDX i dinitrobenzen mogą dominować w fazie rozpuszczonej w toni wodnej, a nie w osadach dennych – co oznacza, że analiza wyłącznie próbek osadów dennych może nie wykazywać istotnych stężeń tych substancji nawet przy ich rzeczywistej obecności w środowisku (Beck i in., 2025).

Punkty pobierania próbek osadów dennych, w których wykryto poszukiwane związki chemiczne, zaprezentowano na rysunku (Rysunek 36).



Rysunek 36. *Miejsca zidentyfikowania potencjalnych produktów degradacji BST (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026)*

Iperyt siarkowy

Iperyt siarkowy – po kontakcie z wodą morską – ulega wielostopniowej hydrolizie i cyklizacji wewnątrzcząsteczkowej, tworząc trwałe produkty cykliczne, które mogą być wykrywane analitycznie nawet wówczas, gdy stężenie macierzystego środka bojowego jest poniżej granicy detekcji (Vanninen i in., 2020). Opisane procesy przebiegają jednak stosunkowo powoli w warunkach niskich temperatur wód głębinowych, co sprzyja tworzeniu polimerycznej powłoki ochronnej wokół stałych grudek iperytu siarkowego – zjawisko to opisywane jest w literaturze anglojęzycznej terminem „mustard heel” (Greenberg i in., 2015), stąd zdarzają się przypadki wyłowienia stałych lub półstałych brył przypominających glinę, których zewnętrzną powłokę stanowi mieszanina twardych, trudno rozpuszczalnych związków polimerowych, o niewielkiej zawartości iperytu siarkowego, najczęściej niestanowiące zagrożenia, natomiast wewnątrz bryły znajduje się niezdegradowany iperyt siarkowy o silnych właściwościach toksycznych (Mazurek i in., 2001). Powłoka ta działa jak bariera fizykochemiczna ograniczająca szybkość hydrolizy i migracji substancji do środowiska, tłumacząc stosunkowo niskie stężenia obserwowane w osadach nawet w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów militarnych. Jednocześnie powłoka ta jest trwała i może utrzymywać się przez długi czas nawet po rozszczelnieniu korozyjnym amunicji chemicznej, a iperyt zalegający w formie stałej może stanowić długotrwałe, wtórne źródło emisji produktów degradacji do środowiska (Greenberg i in., 2016).

Iperyt siarkowy ulega w środowisku morskim wielostopniowej transformacji chemicznej, obejmującej zarówno procesy hydrolizy, jak i procesy wewnątrzcząsteczkowej cyklizacji. Pierwszym produktem

hydrolizy jest tiodiglikol, powstający w reakcji hydrolizy z wodą morską. Identyfikacja wyłącznie tiodiglikolu lub jego bezpośrednich produktów utleniania (sulfotlenek tiodiglikolu i kwas tiodiglikolowy) nie stanowi jednoznacznego dowodu analitycznego obecności iperytu siarkowego w badanym akwenie. Tiodiglikol jest szeroko stosowany w przemyśle chemicznym (np. jako rozpuszczalnik tekstylny, produkcja kosmetyków), a ponadto niektóre organizmy morskie mogą wydalać go jako produkt naturalnego metabolizmu (Garnaga i in., 2006).

Biorąc powyższe pod uwagę, jednoznacznym potwierdzeniem uwolnienia iperytu z zatopionej amunicji chemicznej jest identyfikacja specyficznego profilu jego trwałych, cyklicznych produktów transformacji, którymi są: 1,4-oksatian 1,4-ditian, 1,4,5-oksaditiepan lub 1,2,5-tritiepan. Związki te powstają wyłącznie w wyniku wewnątrzcząsteczkowej cyklizacji iperytu lub jego produktów pośrednich i nie mają znanych naturalnych ani przemysłowych źródeł w środowisku morskim (Vanninen i in., 2020). Z tego względu ich identyfikacja w osadach dennych jest uznawana w literaturze naukowej za niepodważalny dowód historycznego uwolnienia iperytu siarkowego w środowisku morskim. Spośród wymienionych związków: 1,4,5-oksaditiepan i 1,2,5-tritiepan są uznawane za najlepsze wskaźniki analityczne. Substancje te zostały wykryte między innymi w próbkach pobranych z głównych bałtyckich miejsc zatapiania w ramach projektu CHEMSEA (Beldowski i in., 2014).

W warunkach Głębi Gdańskiej stwierdzono współwystępowanie produktów hydrolizy (TDG) z produktem oksydacji sulfotlenkiem tiodiglikolu, co wskazuje na stałe uwalnianie iperytu siarkowego ze źródeł dennych nawet w ubogich tlenowych warunkach środowiska przydennego (Vanninen i in., 2020).

Trwałość cyklicznych produktów transformacji iperytu w osadach dennych (1,2,5-tritiepan, 1,4,5-oksaditiepan, 1,4-ditian) jest uwarunkowana ich silną adsorpcją na cząstkach materii organicznej i mineralnej osadu, co ogranicza migrację tych substancji w profilu pionowym i utrudnia ługowanie do fazy wodnej, stąd jest wręcz niemożliwe wykrycie tych związków w próbkach wody (Greenberg i in., 2015). Właściwości te sprawiają, że cykliczne produkty transformacji iperytu mogą być wykrywane w osadach dennych przez wiele dziesięcioleci po pierwotnym uwolnieniu.

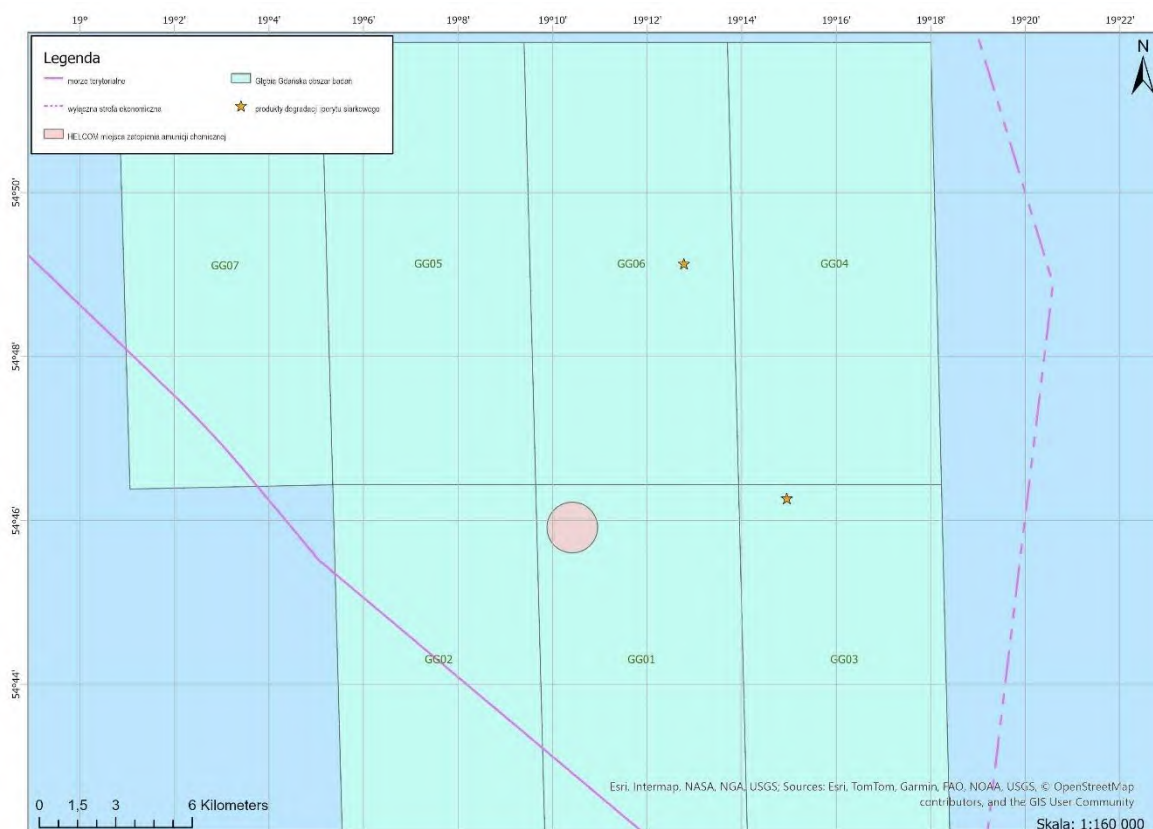
Biorąc powyższe pod uwagę jedynie **w 2 ze 147 pobranych** próbek osadów dennych zidentyfikowano związki chemiczne będące produktami rozkładu iperytu siarkowego. **Są to próbki: GG_VV_080_b i GG_VV_121_b.**

Stężenia produktów degradacji kształtowały się na poziomie: 2,67 ng/g s.m. dla 1,4-ditianu i 5,29 ng/g s.m. dla 1,4,5-oksaditiepanu i są znacznie niższe od wartości notowanych w Głębi Bornholmskiej, gdzie średnie stężenie produktów iperytowych wynosi około 266 ng/g s.m. (mediana 32 ng/g s.m.), a wartości maksymalne sięgają nawet kilku tysięcy ng/g s.m. (Vanninen i in., 2020). Stężenia wykryte w Głębi Gdańskiej są natomiast porównywalne lub nieznacznie przekraczają dolne wartości stężeń obserwowane na obszarach peryferyjnych Głębi Bornholmskiej, które mieszczą się odpowiednio: od 0,31 ng/g s.m. do 1,30 ng/g s.m., 2,00 ng/g s.m. (Söderström i in., 2018).

Obecność produktów degradacji iperytu siarkowego nie musi oznaczać, że w miejscu wykrycia zalega amunicja chemiczna wypełniona iperytem siarkowym. Zgodnie z danymi literaturowymi przenoszenie iperytu siarkowego oraz produktów jego degradacji wraz z osadami dennymi może osiągać nawet 200 m od miejsca ich uwolnienia (Vanninen i in., 2020). Tak niskie stężenia sugerują, że próbki osadów dennych zostały pobrane na obszarze peryferyjnym względem miejsc ewentualnego zalegania

amunicji bądź też produkty degradacji uległy znacznemu rozcieńczeniu lub rozproszeniu przez prądy denne (Vanninen i in., 2020).

Reasumując, obecność 1,4-ditianu i 1,4,5-oksaditiepanu w próbkach GG_VV_080_b i GG_VV_121_b niekoniecznie wskazuje zatem na bezpośrednie sąsiedztwo obiektów militarnych z miejscami pobrania próbek – równie prawdopodobny jest transport tych substancji wraz z osadami pod wpływem prądów przydennych lub bioturbacji (Missiaen i in., 2010). Interpretacja ta jest szczególnie istotna w kontekście Głębi Gdańskiej jako miejsca, gdzie lokalizacja ewentualnych obiektów militarnych z BST nie jest w pełni udokumentowana. Lokalizację miejsc, w których wykryto produkty degradacji iperytu siarkowego, zaprezentowano na rysunku (Rysunek 37).



Rysunek 37. *Miejsca wykrycia produktów degradacji iperytu siarkowego (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026)*

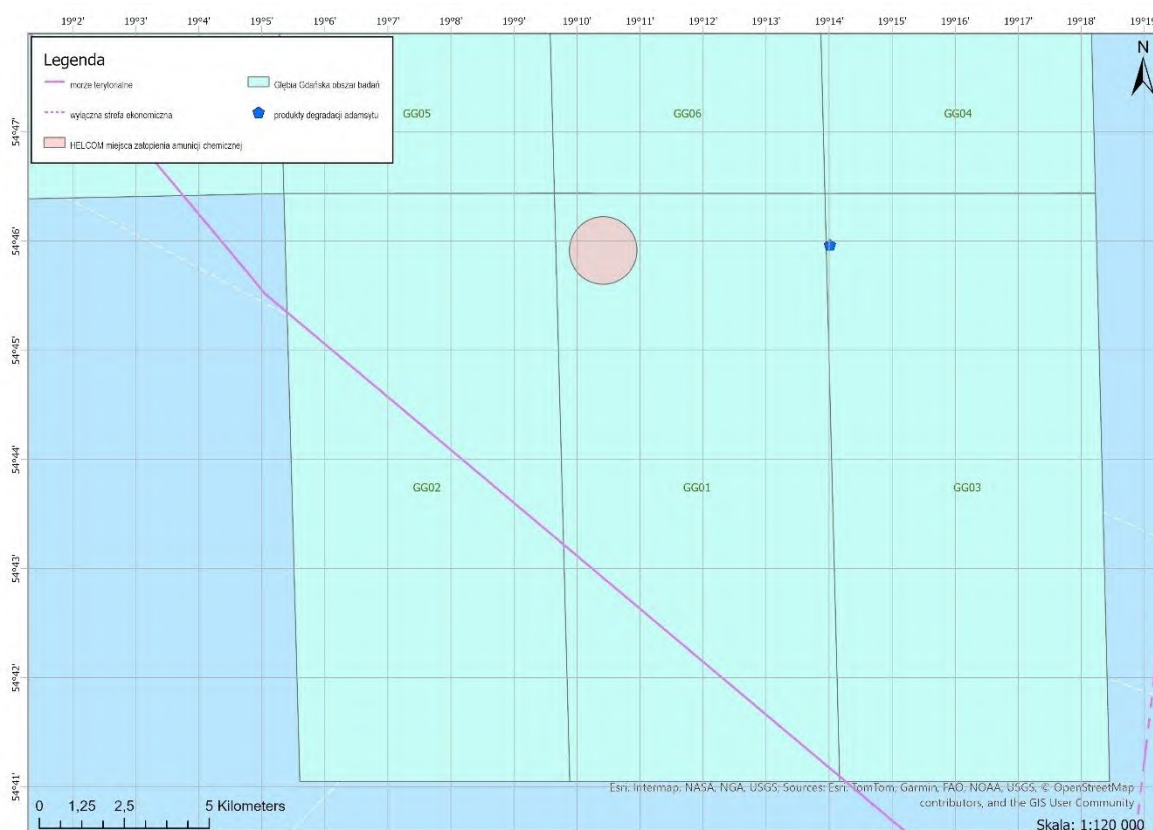
Adamsyt

Adamsyt charakteryzuje się wyjątkowo niską rozpuszczalnością w wodzie, co powoduje, że w warunkach morskich ulega bardzo powolnej hydrolizie, głównie na powierzchni kontaktu z wodą lub po wnikięciu wody morskiej do uszkodzonej amunicji (Garnaga i in., 2006). Jedynym produktem degradacji adamsytu możliwym do zidentyfikowania w osadach dennych metodami standardowej chromatografii jest kwas fenarsazynowy. Ze względu na brak jakichkolwiek naturalnych lub przemysłowych źródeł tego związku w środowisku morskim, jego obecność w osadach dennych jest uznawana za jednoznaczny i wysoce specyficzny wskaźnik chemiczny obecności adamsytu rejonach zalegania amunicji wypełnionej tym BST. Kwas fenarsazynowy jest substancją relatywnie trwałą w środowisku osadowym i wykazuje wysokie powinowactwo do cząstek osadu, co sprzyja jej kumulacji

w pobliżu źródła emisji (Garnaga i in., 2006, Greenberg i in., 2016). Obecność tego produktu degradacji w osadzie dennym jest oczywistym dowodem obecności amunicji chemicznej wypełnionej adamsytem.

Na badanym obszarze w rejonie Głębi Gdańskiej kwas fenarsazynowy wykryto **w 1 próbce: GG_VV_078_b.**

Skrajnie niskie stężenie tego produktu degradacji rejestrowane na poziomie 0,01 ng/g s.m., w porównaniu z danymi literaturowymi dotyczącymi rejonu zatopienia Głębia Bornholmska (55–210 ng/g s.m.) (Niemikoski i in., 2020), świadczyć może, iż substancja ta została przetransportowana wraz z osadem dennym na znaczną odległość od źródła emisji adamsytu. Miejsce wykrycia pochodnej adamsytu zaznaczono na rysunku (Rysunek 38).



Rysunek 38. Miejsce wykrycia produktu degradacji adamsytu (źródło: opracowanie własne na podstawie *Badania 2025–2026*)

Związki arsenoorganiczne

W przypadku wykrycia związków arsenoorganicznych w osadach dennych, obecność większości z nich stanowi pochodne luizytów oraz związków typu Clark i ma charakter jednoznaczny. Substancje te nie mają żadnych zastosowań cywilnych ani przemysłowych, co klasyfikuje je jako bezdyskusyjne markery (wskaźniki) obecności bojowych środków trujących. Wyjątek stanowi identyfikacja trifenylarsyny lub tlenku trifenylarsyny, które mogą sugerować obecność tzw. oleju arsynowego (arsen öl), jednak nie stanowią na to jednoznacznego dowodu (Bełdowski i in., 2014). Trifenylarsyna jest stosowana komercyjnie jako katalizator lub substrat w syntezie przemysłowej. Niemniej jednak

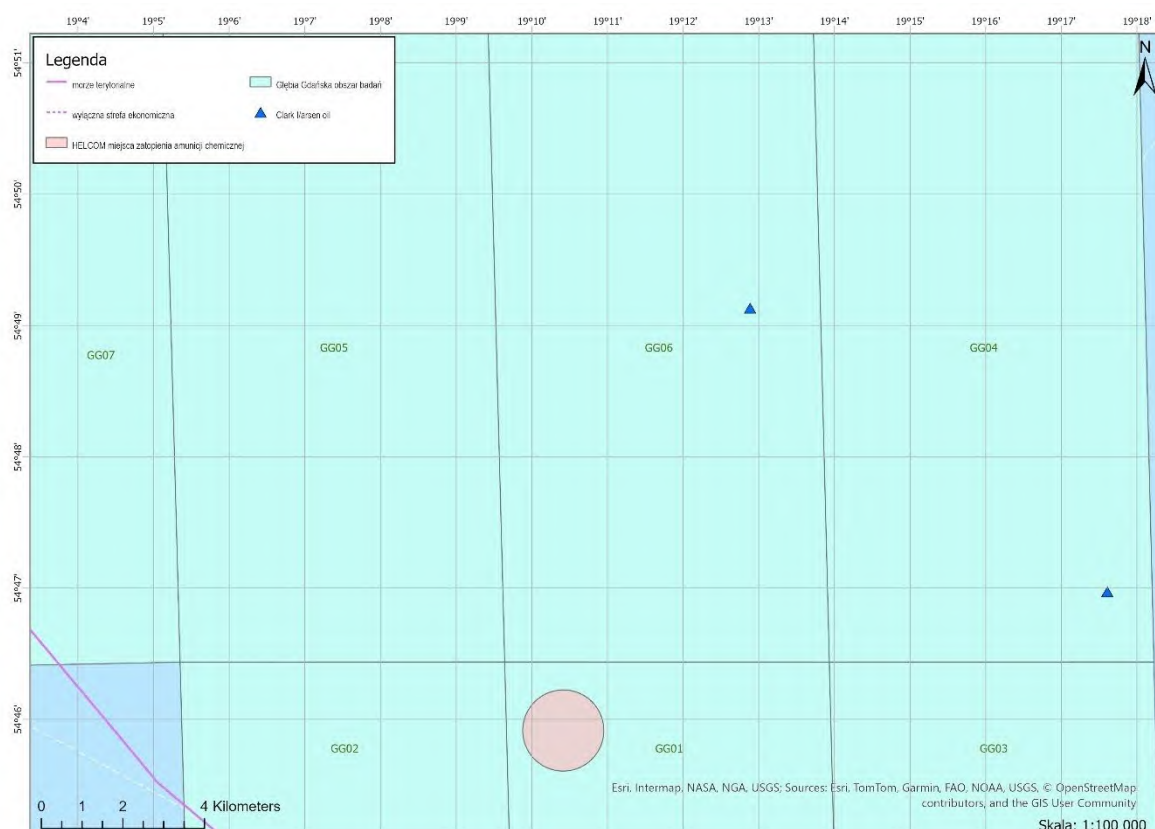
współwystępowanie w próbce innych składników oleju arsynowego, takich jak fenylochloroarsyna, difenylochloroarsyna i/lub produkty ich degradacji środowiskowej, daje pewność, że próbkę pobrano w pobliżu zatopionego obiektu o charakterze militarnym, wypełnionym tego typu bojowymi środkami trującymi (Vanninen i in., 2020).

Biorąc powyższe pod uwagę, jedynie w **2 ze 147** próbek osadów dennych pobranych na obszarze badawczym w rejonie Głębi Gdańskiej wykryto związki arsenoorganiczne. Mogą one stanowić produkty degradacji Clark I lub mieszaniny BST znanej pod nazwą "arsen öl", której składnikiem był także Clark I. **Są to próbki: GG_VV_082_b, GG_VV_120_b.**

Stężenia zidentyfikowanych związków chemicznych przedstawiają się następująco: trifenyloarsyna 6,15 ng/g s.m.; tlenek trifenyloarsyny 0,11 ng/g s.m. i kwas difenyloarsynowy od 0,64 ng/g s.m. do 3,03 ng/g s.m. i osiągają wartości poniżej najniższych stężeń rejestrowanych w próbkach osadów dennych pobranych w rejonie zalegania broni chemicznej w Głębi Bornholmskiej (Söderström i in., 2018). Jest to spójne z wyższą masą zatopionej amunicji chemicznej zawierającej arsenoorganiczne BST w Głębi Bornholmskiej. Niskie wartości stężeń w badanej próbce wskazują, że wykryte produkty degradacji Clark I/arsen öl prawdopodobnie nie odzwierciedlają bezpośredniego wpływu koncentracji obiektów militarnych w miejscach pobrania próbek. Bardziej prawdopodobna jest migracja produktów degradacji wraz z transportem osadów pod wpływem prądów przydennych w Głębi Gdańskiej (Missiaen i in., 2010). Wykrycie tych związków nawet w niskich stężeniach ma jednak istotne znaczenie diagnostyczne jako dowód obecności arsenoorganicznych środków bojowych w tym akwenie.

Arsenoorganiczne produkty degradacji środków BST stwarzają szczególne zagrożenie dla ekosystemu bałtyckiego ze względu na swą trwałość chemiczną, zdolność do bioakumulacji i wysoką toksyczność dla organizmów bentosowych. Wyniki monitoringu arsenoorganicznych zanieczyszczeń w osadach z południowo-wschodniego Bałtyku potwierdziły, że zawartość arsenu ogólnego w osadach z rejonów zatapiania amunicji chemicznej jest statystycznie podwyższona w stosunku do wartości tła geochemicznego, przy czym wyraźne anomalie arsenowe przestrzennie korelują z ilością i rozmieszczeniem obiektów militarnych na dnie (Garnaga i in., 2006). Wyniki Katkova (2011) wskazują na obserwowaną bioakumulację arsenoorganicznych związków w tkankach ryb poławianych komercyjnie w bałtyckich strefach potencjalnego narażenia, co implikuje ryzyko narażenia konsumentów ryb. Trifenyloarsyna i kwas difenyloarsynowy wykazują toksyczność dla organizmów morskich różnych poziomów troficznych, a wysoce trwałe charakter tych związków w beztlenowych lub słabo tlenowych warunkach osadowych sprawia, że czas ich retencji w ekosystemie jest praktycznie nieograniczony w perspektywie ludzkiego życia (Greenberg i in., 2015). Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest postępująca zmiana klimatyczna, która poprzez wzrost temperatury wód morskich może przyspieszać procesy korozji pojemników militarnych i zwiększać szybkość hydrolizy arsenoorganicznych środków bojowych, potencjalnie prowadząc do nasilenia emisji tych substancji do środowiska w przyszłości (Scharsack i in., 2021). W tym kontekście, nawet niskie stężenia wykryte w Głębi Gdańskiej wskazują na konieczność monitorowania tego akwenu jako obszaru potencjalnego długotrwałego oddziaływania BST na ekosystem morski.

Miejsca wykrycia produktów degradacji arsenoorganicznych BST zostały zaprezentowane na rysunku (Rysunek 39).



Rysunek 39. Miejsca występowania produktów degradacji arsen oil lub/i Clark I (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026)

7.2 Rozpoznanie zagrożenia ze strony amunicji konwencjonalnej i BST

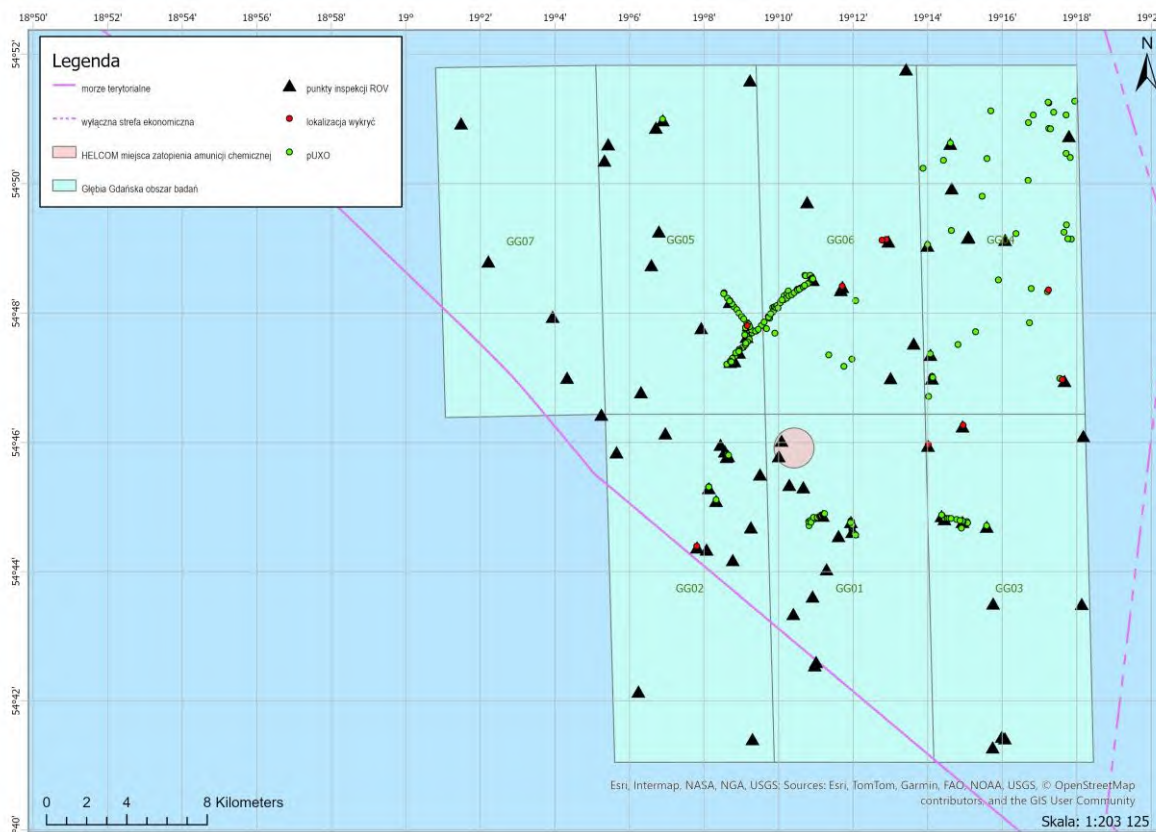
W ramach dalszych prac rozpoznawczych wytypowano 78 obszarów, na których wykonano szczegółową inspekcję z wykorzystaniem zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego (ROV). Inspekcje wizyjne dostarczyły wysokorozdzielczą dokumentację obiektów zalegających na dnie, umożliwiając ich identyfikację oraz ocenę potencjalnego zagrożenia. Uzyskany materiał stanowi obecnie najbardziej kompletne źródło informacji o stanie rozpoznanych obiektów.

Inspekcję wykonano dla obszarów zakwalifikowanych jako:

- potencjalne zrzuty – 4 obszary;
- potencjalne UXO – 20 obszarów;
- szczątki – 22 obszary;
- wrak i szczątki wraków – 15 obszarów;
- obiekty niezidentyfikowane, inne – 17 obszarów.

Na podstawie analizy materiałów wizyjnych oraz wyników badań chemicznych wykonanych w próbkach osadów dennych (Rysunek 40), specjaliści Akademii Marynarki Wojennej przeprowadzili identyfikację obiektów oraz ocenę potencjalnego zagrożenia związanego z występowaniem amunicji konwencjonalnej i bojowych środków trujących. Ocena obejmowała zarówno obiekty wskazane

podczas wstępnej analizy zapisów ROV jako wymagające dodatkowej weryfikacji, jak również lokalizacje, w których stwierdzono obecność materiałów wybuchowych, produktów ich degradacji lub produktów degradacji BST.



Rysunek 40. Wykrycia produktów degradacji BST, wskazania potencjalnych UXO z badań SSS oraz punkty inspekcji wizyjnej ROV (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025–2026)

Połączenie wyników inspekcji wizualnych z rezultatami analiz chemicznych umożliwiło nie tylko identyfikację potencjalnych źródeł zanieczyszczeń, lecz również ocenę ich aktualnego stanu zachowania oraz potencjalnego znaczenia dla bezpieczeństwa i środowiska morskiego.

W rejonie Głębi Gdańskiej nie wykryto obecności materiałów wybuchowych, które mogłyby świadczyć o zaleganiu UXO lub AXO stanowiących zagrożenie. Analiza w postprocessingu materiałów wideo uzyskanych z ROV uwiarygodniła zalegające na dnie elementy uzbrojenia, które pogrupować można na:

- miny (kotwiczne i denne) – najczęściej spotykane, rozpoznane na 13 punktach inspekcji wizyjnej;
- elementy torped (człony sterowania, człony zasilania, elementy głowic);
- amunicję artyleryjską (małego i średniego kalibru);
- zasobniki oraz
- elementy nierozpoznane.

Analiza materiałów wskazuje, że zalegające na dnie obiekty UXO znajdują się w zaawansowanym, lecz stabilnym stanie degradacji. Korpusy obiektów są skorodowane, rozszczelnione, widoczne są ubytki elementów poszycia, degradacja komór, przyrządów i mechanizmów inicjujących (Rysunek 41, Rysunek 42). Skutkiem jest częściowe lub całkowite wypłukanie materiałów w nich zawartych, a w przypadku materiałów wybuchowych pełna ich degradacja.



Rysunek 41. Zidentyfikowane obiekty UXO w lokalizacji GG02_ROV13 (źródło: Badania 2025–2026)



Rysunek 42. Zidentyfikowane obiekty UXO w lokalizacji GG01_ROV14 (źródło: Badania 2025–2026)

We wszystkich zidentyfikowanych przypadkach brak było obecności materiałów wybuchowych, zarówno kruszących – stanowiących główny i najbardziej niebezpieczny materiał, jak i miotających – służących do miotania i przemieszczania ładunków głównych. Zostały one wypłukane i/lub uległy rozkładowi i całkowitej degradacji.

W związku z wykryciem produktów degradacji bojowych środków trujących przeprowadzono dodatkowo analizę materiałów wizyjnych ROV wykonanych w sąsiedztwie pozytywnych wyników badań

chemicznych na obecność BST i produktów ich degradacji. Łącznie przeanalizowano 5 lokalizacji, w których zidentyfikowano głównie: głazy, skupiska kamieni, wraki, szczątki wraków, sieci rybackie oraz inne pojedyncze obiekty pochodzenia antropogenicznego (Rysunek 43).



Rysunek 43. Porośnięte głazy w lokalizacji GG06_ROV03, otoczenie z pozytywnym wynikiem na obecność BST (źródło: Badania 2025–2026)

7.3 Podsumowanie i rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonych Badań 2025–2026 nie stwierdzono zagrożeń wymagających natychmiastowych działań neutralizacyjnych. Przeprowadzone inspekcje ROV oraz analizy chemiczne nie potwierdziły obecności amunicji chemicznej, pojemników zawierających BST ani innych obiektów mogących stanowić aktywne źródło zagrożenia dla środowiska morskiego. Zidentyfikowana amunicja konwencjonalna, głównie miny, znajduje się w zaawansowanym stanie degradacji, zwykle rozszczelniona, a zawarte w niej materiały wybuchowe uległy prawdopodobnie wyptukaniu i degradacji (nie wykryto w próbkach osadu materiałów wybuchowych oraz produktów ich degradacji).

Obszar Głębi Gdańskiej można uznać zatem za obszar o niskim do umiarkowanego ryzyku środowiskowym oraz umiarkowanym do wysokiego ryzyku operacyjnym dla inwestycji ingerujących w dno morskie.

Jednocześnie nie można całkowicie wykluczyć obecności w osadach dennych pojedynczych nierozpoznanych obiektów zawierających materiały wybuchowe lub bojowe środki trujące. Potwierdza to zarówno historyczny charakter analizowanego obszaru, jak i wykrycie w części próbek produktów degradacji BST, dla których nie zidentyfikowano jednoznacznego źródła. Z tego względu zasadne jest wdrożenie działań z zakresu zarządzania ryzykiem oraz prowadzenie monitoringu środowiskowego, opisanych w kolejnych rozdziałach.

Zaleca się wdrożenie programu monitoringu środowiskowego oraz procedur zarządzania ryzykiem UXO/BST na etapie realizacji przyszłych inwestycji.

8 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

Poniżej została przedstawiona propozycja krótkoterminowego planu działania na lata 2027–2030.

Wyznaczone przez Międzyresortowy Zespół do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich Rzeczypospolitej Polskiej odpowiednie instytucje i organy administracji publicznej oraz podległe im służby we współpracy z jednostkami badawczymi, naukowymi oraz innymi interesariuszami:

- W czwartym kwartale 2027 r. przygotują wersję 1.0 cyfrowej mapy ryzyka, w oparciu o wyniki badań geofizycznych, inspekcje ROV, analizy chemiczne osadów i wód przydennych, ocenę ekspercką specjalistów Akademii Marynarki Wojennej.

Mapa ryzyka powinna obejmować następujące zagrożenia:

- ukryte nierozpoznane UXO w osadach,
 - ukryte nierozpoznane obiekty zawierające BST,
 - kontakt inwestycji z rozpoznanym UXO,
 - uwolnienie pozostałości materiałów wybuchowych,
 - uwolnienie BST z obiektów zalegających pod osadami,
 - zagrożenie ze strony wraków podczas prac budowlanych,
 - kolizja z niewielkimi obiektami antropogenicznymi,
 - zagrożenie dla rybołówstwa związane z zalegającymi obiektami,
 - ryzyko ekologiczne związane z produktami degradacji BST,
 - ryzyko geotechniczne związane z obiektami i nieckami erozyjnymi.
- Od III kwartału 2027 r. wprowadzą wymaganie standardu „zero zaskoczeń” dla wszystkich nowych prac ingerujących w dno morskie, a interesariusze zrealizują pełny pakiet badań środowiskowych, poszerzony o badania obecności bojowych środków trujących i materiałów wybuchowych.
- W 2027 r. przygotują program szkoleń oraz harmonogram przeprowadzenia szkoleń i kontroli wyposażenia w ŚOI.
- Od 2027 r. uaktualnią istniejący system monitoringu osadów i bioty o nowo zidentyfikowane rejony, gdzie wykryto obiekty niebezpieczne, oraz podadzą do publicznej wiadomości.
- W 2027 r. wdrożą procedury szybkiego rekonesansu dna po sztormach, z czasem reakcji do 72 godzin po ustaniu epizodu pogodowego.
- W latach 2027–2030 będą koordynować cykliczne, co najmniej raz w roku, ćwiczenia międzysektorowe z udziałem EOD, SAR i służb medycznych.
- W 2027 r. zlecą opracowanie modeli dyspersji BST, MW i ich produktów degradacji w Morzu Bałtyckim, w rejonach prawdopodobnego zalegania broni chemicznej i konwencjonalnej.
- W 2028 r. przeprowadzą audyt zgodności aktywnych projektów z wymaganiami badań i procedurami *stop-work*/EOD, a interesariusze dokonają korekt do końca roku.

- Od 2028 r. przeprowadzą szkolenia ze szczególnym uwzględnieniem łączności alarmowej i realizacji zarządzeń porządkowych dyrektorów urzędów morskich, dążąc do osiągnięcia minimum 30% zgłoszeń alarmowych względem 2027 r.
- Do połowy 2028 r. podpiszą porozumienia z partnerami regionalnymi w ramach HELCOM dotyczące wymiany danych i ostrzeżeń.
- W 2028 r. zorganizują ćwiczenie pełnoskalowe z elementami dekontaminacji i wsparcia medycznego, pod nadzorem instytucji wskazanej przez Zespół.
- W 2028 r. przygotują wersję 2.0 mapy ryzyka i zaktualizują zalecenia operacyjne do końca III kwartału.
- W 2028 r. wykonają drugi cykl audytów inwestycji oraz przegląd procedur po epizodach pogodowych, z raportem do końca IV kwartału.
- W 2029 r. dokonają przeglądu i aktualizacji programu szkolenia.
- W latach 2029–2030 opublikują raporty z monitoringu oraz modele dyspersji, a administracja przełoży wnioski na komunikaty operacyjne.
- Do połowy 2030 r. przygotują projekt wprowadzenia stałych stref „no-go” i „caution” do planów zagospodarowania obszarów morskich i praktyk portowych.
- W 2030 r. wdrożą wersję 3.0 map ryzyka i zakończą pierwszą trzyletnią ewaluację programu pod przewodnictwem wskazanej przez Zespół instytucji.
- W 2030 r. podejmą decyzje o rozszerzeniu monitoringu lub uruchomieniu pilotaży interwencyjnego oczyszczania dna morskiego z obiektów niebezpiecznych.
- W latach 2027–2030 zobowiążą wszystkie jednostki do posiadania instrukcji postępowania, zestawów dekontaminacyjnych i aktualnych kontaktów alarmowych.
- Co kwartał w latach 2027–2030 zraportują wyniki KPI i zmodyfikują harmonogram działań w zależności od trendów ryzyka.

Natomiast propozycja długoterminowego planu działania na lata 2027–2057, który ma na celu zminimalizowanie ryzyka wynikającego z pozostawiania na dnie Bałtyku zatopionej broni chemicznej i konwencjonalnej, przedstawia się następująco:

Faza I – uruchomienie systemu (2027–2030) – okres krótkoterminowy

2027 – publikacja mapy ryzyka v1.0 (Q4), obowiązek standardu „zero zaskoczeń” dla wszystkich nowych prac ingerujących w dno morskie od Q3, program szkoleń i wyposażenia w ŚOI obejmuje $\geq 90\%$ jednostek pływających, opracowanie siatki monitoringu osadów i bioty + raport bazowy (Q4), protokół szybkiego rekonesansu dna po sztormach ($T \leq 72$ h) wdrożony przez służby hydrograficzne i EOD, 1 ćwiczenie międzysektorowe.

2028 – rozszerzenie monitoringu, opracowanie modeli dyspersji + raport roczny (Q4), audyt zgodności aktywnych projektów z ALARP/„stop-work”/EOD (Q3), skrócenie czasu zgłoszeń incydentów o $\geq 30\%$ vs 2027; porozumienie wymiany danych HELCOM (Q2); ćwiczenie pełnoskalowe z dekontaminacją.

2029 – mapa ryzyka v2.0 (Q3) + zaktualizowane zalecenia; drugi cykl audytów inwestycji i przegląd procedur po epizodach pogodowych (Q4), utrzymanie przeszkolenia $\geq 90\%$, ciągłość raportów rocznych i komunikatów operacyjnych.

2030 – projekt stałych stref „no-go/caution” w prawie miejscowym (Q2), mapa ryzyka v3.0 (Q4), ewaluacja 3-letnia programu, decyzje o pilotażach interwencyjnego oczyszczania i rozszerzeniu monitoringu, obowiązkowe instrukcje, zestawy dekontaminacyjne i kontakty alarmowe na wszystkich jednostkach, kwartalne raportowanie KPI przez wyznaczony zespół koordynacyjny.

Faza II – skala i integracja (2031–2034)

2031 – uruchomienie centralnego repozytorium danych morskich (*as-found/as-built*, monitoring, zgłoszenia), API map ryzyka zintegrowane z ECDIS/planowaniem inwestycji, audyt jakości danych i zgodności formatów.

2032 – obowiązek cyfrowych planów omijania anomalii dla wszystkich nowych tras kabli/rurociągów; pierwsze pilotaże remediacji punktowej (kapsułowanie/izolacja) na 2–3 hotspotach; skrócenie czasu izolacji sektora po zgłoszeniu do ≤ 60 min.

2033 – mapa ryzyka v3.5 z warstwami probabilistycznymi (P5–P95) i progami sztormowymi; standard „Rapid Recon 72h” rozszerzony o rekonesans AUV/ROV autonomicznych; coroczna publikacja „State of the Seabed”.

2034 – drugi przegląd programu (5-letni); decyzja o skalowaniu remediacji punktowej, wdrożenie e-permitting dla nurkowań/ROV amatorskich z geofencingiem ostrzegawczym.

Faza III – dojrzałość operacyjna 2035–2038

2035 – mapa ryzyka v4.0 (pełna integracja danych chemicznych/eDNA, sonarów, magnetometrii); obowiązkowa telemetria prac ingerujących w dno morskie (śląd audytowy).

2036 – audyt HELCOM wymiany danych i ostrzeżeń, wdrożenie wspólnych progów czasowych reakcji w regionie (harmonizacja).

2037 – rozbudowa siatki monitoringu stref hipoksji; redukcja „near-miss” o $\geq 40\%$ vs 2027, decyzja o utrwaleniu stałych stref „no-go/caution” w aktach prawa miejscowego.

2038 – przegląd technologiczny: wymiana generacji czujników, wdrożenie AI do klasyfikacji anomalii (wymóg w zamówieniach publicznych), raport *impact assessment* remediacji pilotażowych.

Faza IV – targeted remediation i odporność (2039–2042)

2039 – mapa ryzyka v4.5, wdrożenie modeli predykcyjnych uwzględniających sztormy i trendy klimatyczne, aktualizacja progów „triggerów” operacyjnych.

2040 – skalowanie remediacji punktowej (priorytet: sektory kolizyjne z infrastrukturą), porty kończą modernizację zaplecza dekontaminacyjnego.

2041 – audyt skuteczności: spadek P95 strat portfela o $\geq 20\%$ vs baseline 2025, przegląd polis ubezpieczeniowych i wymogów prewencyjnych.

2042 – mapa ryzyka v5.0 (tryb „live”: aktualizacja prawie w czasie rzeczywistym), przegląd strategii na lata 2043–2052.

Faza V – utrzymanie, automatyzacja i współdzielenie kosztów (2043–2047)

2043 – automatyzacja rekonesansów po sztormach (AUV flotylla regionalna), odsetek rekonesansów w ≤ 72 h: $\geq 90\%$.

2044 – trzecia ewaluacja programowa; aktualizacja ALARP i progów decyzyjnych, umowy o współfinansowaniu z sektorem offshore.

2045 – szkolenia i licencjonowanie użytkowników morza zintegrowane z systemem zezwoleń, grzywny/sankcje za naruszenia stref „no-go” egzekwowane cyfrowo.

2046 – audyt danych „end-to-end”: zgodność, kompletność, dostępność, wdrożenie *data quality* KPIs.

2047 – potwierdzony spadek ryzyka ciężkich incydentów (LTI/zdrowotnych) do 0 w ciągu 3 kolejnych lat, publikacja planu następnej dekady.

Faza VI – konsolidacja i niższe koszty ryzyka (2048–2052)

2048 – modernizacja mapy do v5.5 (nowe sensory, warstwy reputacyjne/ekonomiczne), kontynuacja remediacji punktowej w trybie „utrzymaniowym”.

2049 – regionalny benchmark kosztów/korzyści: utrzymanie vs remediacja, aktualizacja polityki ubezpieczeniowej i stawek.

2050 – audyt skuteczności: P95 portfela niższe o $\geq 30\%$ vs 2027, rewizja progu rezerw finansowych.

2051 – przegląd siatki monitoringu i optymalizacja częstotliwości badań, utrwalenie finansowania długoterminowego.

2052 – aktualizacja strategii do 2060 r., publikacja kompendium dobrych praktyk i otwartych zbiorów danych.

Faza VII – ciągłość i przekazanie następnej generacji (2053–2057)

2053 – przegląd horyzontu ryzyka dla starzejących się instalacji offshore, aktualizacja wymagań demontażowych (*decommissioning*).

2054 – integracja krajowych systemów z nową architekturą HELCOM/UE, ujednolicenie wskaźników KPI w regionie.

2055 – audyt końcowy cyklu 30-letniego: skuteczność prewencji, czas reakcji, poziom remediacji, P95 i EAL.

2056 – program „next-gen”: standaryzacja AI, robotyki i e-permittingu, rekomendacje na kolejne 20 lat.

2057 – mapa ryzyka v6.0 i raport końcowy cyklu 2027–2057, utrzymanie: ćwiczenia, monitoring, audyty roczne, zatwierdzenie strategii 2058–2078.

Cykliczne elementy wspólne dla całego okresu

KPI co kwartał: czas zgłoszenia, czas izolacji, liczba „near-miss”, pokrycie monitoringiem, zgodność ALARP, EAL i P95 (z Monte Carlo).

Ćwiczenia (organizowane co roku): 1 studyjne/sztabowe + 1 praktyczne (terenowe) z dekontaminacją i modułem medycznym.

Raport roczny: monitoring osadów/bioty, aktualizacja modeli dyspersji, wnioski operacyjne.

Audyt 3–5-letni: jakość danych, skuteczność remediacji, potrzeby prawne i finansowe.

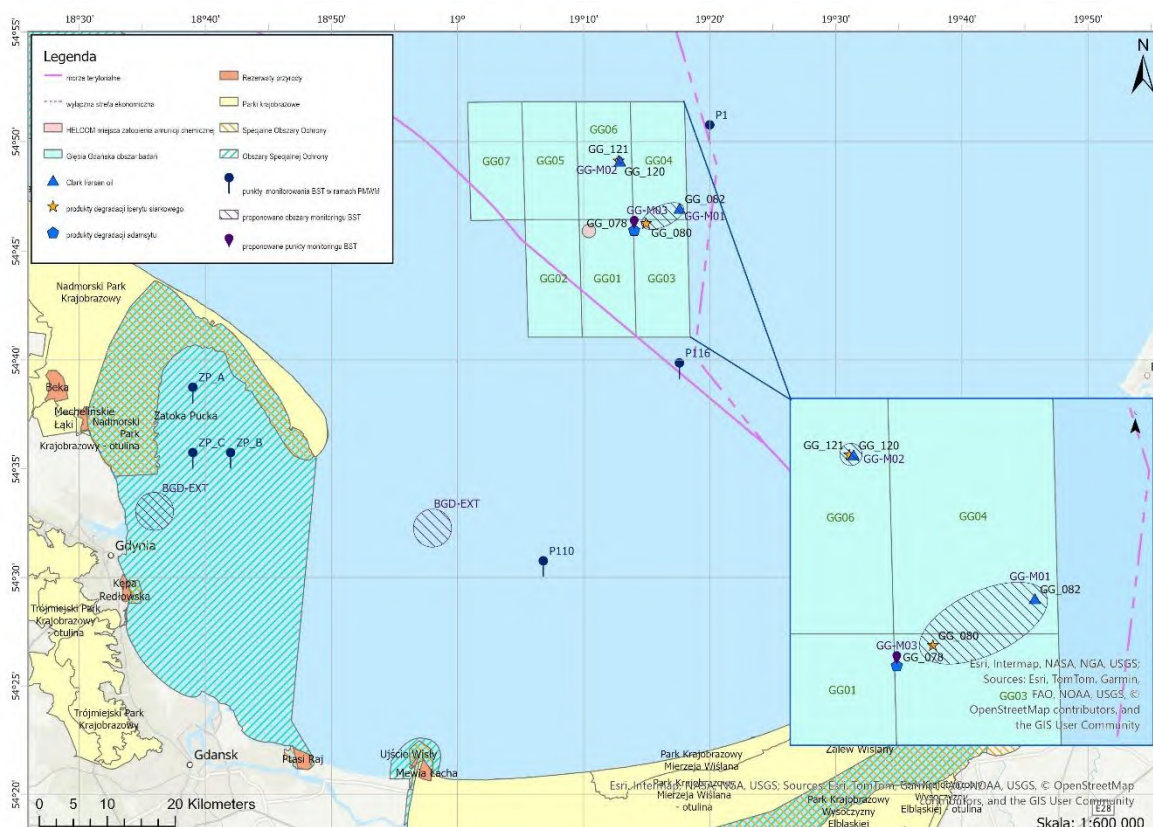
9 WPŁYW PLANOWANEJ DZIAŁALNOŚCI M.IN. NA STAN ŚRODOWISKA MORSKIEGO

Na przebadanym obszarze Głębi Gdańskiej nie stwierdzono zagrożeń wymagających działań neutralizacyjnych. Równocześnie nie można całkowicie wykluczyć obecności w osadach dennych pojedynczych nierozpoznanych obiektów zawierających materiały wybuchowe lub bojowe środki trujące. Z tego względu w PNZ rekomenduje się wdrożenie działań z zakresu zarządzania ryzykiem oraz prowadzenie monitoringu środowiskowego.

Planowane działania (głównie monitoringowe) prowadzone będą głównie w rejonie Głębi Gdańskiej na głębokościach od około 95 do 110 m. Dno ma przeważnie charakter równiny akumulacyjnej, pokrytej osadami mulistymi i mulisto-piaszczystymi, charakteryzującymi się wysoką zawartością wody i materii organicznej. W rejonie tym występuje trwała stratyfikacja termohalinowa, ograniczająca pionową wymianę wód, a w warstwie przydennej okresowo utrzymują się warunki niedotlenienia lub beztlenowe. W otoczeniu regionalnym rekomendowanych działań występują obszary objęte ochroną przyrody, zlokalizowane przede wszystkim w strefie przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej, Półwyspu Helskiego i Mierzei Wiślanej:

- Obszary Natura 2000:
 - Zatoka Pucka PLB220005,
 - Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032,
 - Przybrzeżne Wody Bałtyku PLB
 - Ujście Wisły PLB220004,
 - Ostoja w Ujściu Wisły PLH220044,
 - Zalew Wiślany PLB280010,
 - Zalew Wiślany i Mierzeja Wiślana PLH280007,
 - Klify i Rify Kamienne Orłowa PLH220105,
- Parki Krajobrazowe:
 - Nadmorski Park Krajobrazowy,
 - Mierzeja Wiślana,
- Rezerваты przyrody:
 - Mewia Łacha,
 - Kępa Redłowska,
 - Beka.

Planowane punkty monitoringu znajdują się w większości poza granicami tych obszarów i w znacznej odległości od wybrzeża, za wyjątkiem jednej z rekomendowanych stacji BGD-EXT, która ma być punktem kontrolnym wokół wraku s/s Stuttgart (Rysunek 44).



Rysunek 44. Lokalizacja wykryć produktów degradacji BST oraz rekomendowanych nowych punktów monitoringu w ramach PMŚ dla obszaru Głębi Gdańskiej na tle obszarów chronionych (źródło: opracowanie własne na bazie Badania 2025–2026 oraz danych GDOŚ)

Wdrożenie rekomendowanych działań, opisanych w rozdziale 8, będzie miało pośredni, długotrwały i pozytywny wpływ na stan środowiska morskiego i wykorzystanie gospodarcze obszaru, dzięki potencjalnej identyfikacji i ujawnieniu na mapach nawigacyjnych miejsc zalegania obiektów niebezpiecznych, wprowadzeniu stref „no-go” oraz dzięki wprowadzeniu standardów postępowania (m.in.: standardu „zero zaskoczeń” dla wszystkich nowych prac ingerujących w dno morskie, szkoleń i doposażenia w ŚOI jednostek pływających).

Wdrożenie monitoringu środowiska, opisanego w rozdziale 10, jako działania mające na celu ocenę stanu i trendów związanych z potencjalnym uwalnianiem produktów degradacji amunicji i BST, również będzie miało pośredni, długotrwały i pozytywny wpływ na stan środowiska morskiego. Planowane działania monitoringowe będą obejmowały okresowe pobieranie niewielkich próbek wody, osadów dennych i materiału biologicznego. Ze względu na punktowy, krótkotrwały i odwracalny charakter związanej z nimi ingerencji nie przewiduje się znaczącego negatywnego oddziaływania na środowisko, w tym na obszary Natura 2000 (Tabela 71).

Tabela 71. Syntetyczne zestawienie potencjalnych oddziaływań planowanych działań na środowisko morskie oraz otoczenie społeczno-gospodarcze (źródło: opracowanie własne)

Receptor	Potencjalne oddziaływanie	Czas trwania / charakter	Istotność oddziaływania
MONITORING ŚRODOWISKA – obecność i ruch jednostek badawczych			
Wody morskie	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania na stan wód morskich. Obecność jednostki badawczej będzie miała charakter krótkotrwały i nie będzie wiązała się z ingerencją w dno	Krótkotrwałe, lokalne, nieznacznie negatywne	Znikome
Osady denne	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak
Bentos	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak
Ryby, ssaki morskie	Możliwe krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostki, jej ruchem oraz emisją hałasu podwodnego	Krótkotrwałe, lokalne, odwracalne, negatywne	Niskie
Ptaki morskie	Możliwe krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostki, jej ruchem	Krótkotrwałe, lokalne, odwracalne, negatywne	Niskie
Obszary chronione	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak
Użytkowanie akwenu	Obecność jednostki badawczej może powodować krótkotrwałe, lokalne ograniczenie swobody żeglugi w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Nie przewiduje się trwałego wyłączenia akwenu z użytkowania	Krótkotrwałe, lokalne, odwracalne, negatywne	Niskie
MONITORING ŚRODOWISKA – pobieranie próbek wody, osadów i materiału biologicznego			
Wody morskie	Możliwe lokalne wzruszenie osadów, przejściowy wzrost mętności w warstwie przydennej	Krótkotrwałe, punktowe, odwracalne, negatywne	Znikome
Osady denne	Punktowe usunięcie niewielkiej ilości osadu oraz naruszenie jego powierzchniowej warstwy	Krótkotrwałe, punktowe, odwracalne, negatywne	Znikome
Bentos	Punktowe usunięcie części organizmów bentosowych oraz krótkotrwałe naruszenie ich siedliska, bez wpływu na stan zespołów bentosowych w skali obszaru	Krótkotrwałe, punktowe, odwracalne, negatywne	Znikome
Ryby, ssaki morskie	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak
Ptaki morskie	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak
Obszary chronione	Monitoring będzie prowadzony w większości poza granicami obszarów chronionych. Ze względu na punktowy charakter pobierania, niewielką skalę ingerencji i odległość od obszarów chronionych nie	Brak bezpośredniego oddziaływania	Brak

Receptor	Potencjalne oddziaływanie	Czas trwania / charakter	Istotność oddziaływania
	przewiduje się oddziaływania na ich integralność ani cele ochrony		
Użytkowanie akwenu	Obecność jednostki badawczej może powodować krótkotrwałe, lokalne ograniczenie swobody żeglugi w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Nie przewiduje się trwałego wyłączenia akwenu z użytkowania	Krótkotrwałe, lokalne, odwracalne, negatywne	Niskie
DZIAŁANIA Z ZAKRESU ZARZĄDZANIA RYZYKIEM			
Środowisko morskie jako całość	Systematyczne pozyskiwanie danych umożliwi ocenę stanu środowiska, identyfikowanie zmian i trendów oraz wczesne wykrywanie ewentualnego uwalniania substancji niebezpiecznych. Pozwoli również na aktualizację oceny ryzyka i podjęcie działań adekwatnych do rzeczywiście rozpoznanego zagrożenia	Długotrwałe, pozytywne	Wysokie
Użytkowanie gospodarcze	Aktualizacja danych o potencjalnych obiektach niebezpiecznych, procedury postępowania oraz uwzględnianie rozpoznanych miejsc na mapach i w systemach informacji przestrzennej ograniczą ryzyko przypadkowego kontaktu z amunicją podczas prac ingerujących w dno	Długotrwałe, pośrednie, pozytywne	Wysokie

10 MONITORING ŚRODOWISKA

Degradacja amunicji i zasobników BST w środowisku morskim jest procesem ciągłym. W miarę korozji metalowych korpusów pocisków, bomb i zasobników, zawarte w nich substancje chemiczne (BST i MW) uwalniają się do środowiska morskiego, stwarzając zagrożenie dla ekosystemów, zasobów rybnych i zdrowia ludzkiego. Badania terenowe realizowane na obszarze Głębi Gdańskiej w latach 2025–2026 dostarczyły istotnych danych potwierdzających historyczną obecność BST w tym rejonie oraz uzasadniających potrzebę wdrożenia systematycznego programu monitoringowego.

Podstawami prawnymi proponowanego Programu Monitorowania BST i MW są:

- Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej (RDSM, 2008/56/WE z późniejszymi zmianami) – zobowiązuje państwa członkowskie UE do osiągnięcia lub utrzymania dobrego stanu środowiska wód morskich oraz do prowadzenia monitoringu w tym zakresie substancji zanieczyszczających (D8) oraz substancji zanieczyszczających w rybach do spożycia (D9), co jest istotne szczególnie w kontekście zanieczyszczeń BST;
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, której zapisy stanowią podstawę opracowania i aktualizacji Programu Monitoringu Wód Morskich przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska;
- Aktualizacja Programu Monitoringu Wód Morskich z 22 marca 2021 r., która stanowi dokument programowy aktualnie obowiązującego systemu monitoringu;
- Wytyczne HELCOM dotyczące monitoringu substancji niebezpiecznych stanowią metodyczne referencje dla przedmiotowego Programu;

- HELCOM Expert Group on Environmental Risks of Hazardous Submerged Objects (EG SUBMERGED) – wyniki prac grupy eksperckiej HELCOM;
- Konwencja o zakazie broni chemicznej.

Celem programu monitorowania bojowych środków trujących i materiałów wybuchowych jest systematyczne, wieloletnie monitorowanie stanu środowiska polskich obszarów morskich w kontekście zagrożeń wynikających z obecności zatopionej amunicji chemicznej i konwencjonalnej oraz produktów degradacji BST i MW, a w szczególności:

- ocena stopnia i dynamiki zanieczyszczenia środowiska morskiego produktami degradacji BST i MW w osadach dennych, organizmach morskich i słupie wody;
- identyfikacja nowych obszarów skażeń i weryfikacja granic stref ryzyka;
- dostarczanie danych dla oceny ryzyka dla zdrowia ludzkiego i ekosystemów morskich;
- realizacja zobowiązań sprawozdawczych wobec Komisji Europejskiej (RDSM) i HELCOM;
- tworzenie długoterminowej bazy danych umożliwiającej analizę trendów zanieczyszczeń;
- wsparcie decyzji zarządczych dotyczących działań neutralizacyjnych i zarządzania ryzykiem.

Program uzupełnia i rozszerza dotychczasowy monitoring wód morskich o dedykowany moduł BST/MW, uwzględniający wyniki badań Głębi Gdańskiej z lat 2025–2026.

Zakres przedmiotowy monitoringu

Program obejmuje monitoring następujących kategorii BST oraz produktów ich środowiskowej transformacji:

Iperyt siarkowy

Iperyt siarkowy (gaz musztardowy) jest parującym BST o wysokiej toksyczności i trwałości w środowisku morskim. Bezpośrednia detekcja iperytu w osadach jest mało prawdopodobna ze względu na szybką hydrolizę, stąd monitoring powinien być oparty na identyfikacji trwałych, cyklicznych produktów degradacji:

- tiodiglikol (TDG) – produkt hydrolizy, niespecyficzny, wymaga potwierdzenia innymi markerami,
- sulfotlenek tiodiglikolu i kwas tiodiglikolowy – produkty utleniania TDG, niespecyficzne, wymagają potwierdzenia innymi markerami,
- 1,4-oksatan – cykliczny produkt degradacji – specyficzny marker,
- 1,4-ditian – cykliczny produkt degradacji – specyficzny marker,
- 1,4,5-oksaditiepan – cykliczny produkt degradacji – specyficzny marker,
- 1,2,5-tritiepan – cykliczny produkt degradacji – specyficzny marker.

Potwierdzonym dowodem obecności iperytu jest wyłącznie identyfikacja specyficznych cyklicznych produktów transformacji (1,4-ditian, 1,4,5-oksaditiepan lub 1,2,5-tritiepan), nie sam tiodiglikol i jego bezpośrednie produkty utleniania.

Arsenoorganiczne BST – Clark I, Clark II i adamsyt

Arsenoorganiczne środki bojowe reprezentowane są przez trzy podstawowe substancje:

- Clark I, Clark II – specyficzne markery: kwas difenyloarsynowy, fenylodichloroarsyna,
- adamsyt – specyficzny marker: kwas fenarsazynowy,
- arsen öl (mieszanina arsenoorganiczna) – trifeniloarsyna, tlenek trifeniloarsyny – związki niespecyficzne, wymagają potwierdzenia innymi markerami, takimi jak kwas difenyloarsynowy i/lub, fenylodichloroarsyna, i/lub dipropylotiofeniloarsyna,
- luizyt I i luizyt II – w badaniach w rejonie Głębi Gdańskiej nie wykryto obecności tych związków i produktów ich degradacji. Dane historyczne wskazują na bardzo niskie prawdopodobieństwa zatapiania amunicji elaborowanej tymi związkami. Związki te mogą być objęte monitoringiem jako opcjonalne.

Wszystkie wymienione związki arsenoorganiczne nie mają zastosowań cywilnych (z wyjątkiem trifeniloarsyny) i stanowią jednoznaczne markery obecności broni chemicznej. Arsen całkowity w osadach i organizmach monitorowany jest jako wskaźnik zagregowany.

Inne BST

- Chloroacetofenon – w badaniach w rejonie Głębi Gdańskiej nie wykryto obecności tego związku. Dane historyczne wskazują na wysokie prawdopodobieństwa zatapiania amunicji elaborowanej chloroacetofenonem. Związek ten może być objęty monitoringiem jako opcjonalny.
- Tabun, sarin i inne środki nerwowe – nie stwierdzono historycznych depozytów w polskich obszarach morskich, jednak można je uwzględnić w protokołach badań jako parametry opcjonalne.

Materiały wybuchowe i amunicja (UXO/pUXO)

Program obejmuje monitoring konwencjonalnych materiałów wybuchowych i wyrobów pirotechnicznych:

- trotyl – markery: 4-dinitrotoluen; 1,3- dinitrobenzen; 1,3,5-trinitrobenzen; 2,4-dinitrotoluen; 2,6-dinitrotoluen; 2,4-dinitroanilina; 4-amino-2,6-dinitrotoluen; 2-amino-4,6-dinitrotoluen – pojedyncze wykrycia nie potwierdzają jednoznacznie obecności MW. O obecności świadczyć może jedynie jednoczesne występowanie minimum dwóch markerów w badanej próbce,
- RDX – monitoring opcjonalny,
- HMX – monitoring opcjonalny,
- ołów i rtęć z zapalników i pocisków – wskaźnik obecności amunicji.

W zakresie aktualnego Programu Monitoringu Wód Morskich, w ramach istniejących stacji realizuje się badania obecności następujących BST:

- iperyt siarkowy w osadach dennych,

- stężenia arsenu całkowitego jako kompleksowego wskaźnika obecności wszystkich bojowych środków trujących i ich pochodnych zawierających arsen w osadach dennych.

Wyniki analiz BST interpretowane powinny być metodą wielomarkerową – potwierdzenie skażenia wymaga jednoczesnej identyfikacji co najmniej dwóch specyficznych produktów degradacji danego BST.

Badania realizowane są na stacjach P1 (Głębia Gdańska), P5C (Głębia Bornholmska), P140 (Wschodni Basen Gotlandzki), P39Z (Basen Bornholmski), P110, P116 (Zatoka Gdańska), ZP_1, ZP_2, ZP_3 (Zatoka Pucka). Aktualizacja Programu Monitoringu Wód Morskich (poddana konsultacjom w 2026 roku) wprowadza trzy nowe stacje BST1, BST2 i BST3. Badania realizowane są z częstotliwością od roku do sześciu lat, w zależności od stacji monitorującej i monitorowanego wskaźnika.

Nowe proponowane stacje monitoringu państwowego

Na podstawie wyników Badań 2025–2026, rozmieszczenia potwierdzeń obecności BST oraz zidentyfikowanych luk w sieci monitoringowej proponuje się ustanowienie następujących stacji w ramach państwowego monitoringu środowiskowego dla obszaru Głębi Gdańskiej (Tabela 72).

Tabela 72. Propozycja nowych stacji w ramach PMŚ dla obszaru Głębi Gdańskiej (źródło: opracowanie własne)

ID stacji	Lokalizacja / arkusz	Uzasadnienie	Priorytet	Badany parametr	Rodzaj badań /częstotliwość
BGD-EXT	Basen Gdański – rozszerzenie sieci	Rozszerzenie istniejących stacji P110/P116 o punkty kontrolne wokół wraków t/s Franken i s/s Stuttgart; weryfikacja gradientu stężeń BST	ŚREDNI	Iperyty, arsen	Osady co rok; organizmy co 3 lata
GG-M01	Głębia Gdańska – rejon GG_VV_080_b / GG_VV_082_b; głębokość ok. 100–108 m	Skupisko wykrycia produktów degradacji iperytu siarkowego oraz Clark; współwystępowanie tlenu trifenylarsyny sugeruje bliskość zatopionego obiektu militarnego	WYSOKI	Iperyty (pełny profil), Clark, arsen öil, adamsyt, UXO	Osady co rok; ROV co 3 lata; woda przydenna co rok
GG-M02	Głębia Gdańska – rejon GG_VV_121_b / GG_VV_120_b; głębokość ok. 105–110 m	Wykrycia produktów degradacji iperytu siarkowego i Clark; potencjalne drugie ognisko skażenia	WYSOKI	Iperyty (pełny profil), Clark, adamsyt, UXO	Osady co rok; ROV co 3 lata; woda przydenna co rok
GG-M03	Głębia Gdańska – rejon GG_VV_078_b; głębokość ok. 95–105 m; stacja referencyjna	Wykrycie adamsytu w Głębi Gdańskiej; weryfikacja źródła (transport vs. lokalny depozyt)	ŚREDNI	Adamsyt, arsen, BST ogólne	Osady co 3 lata; woda przydenna co rok

łącznie sieć monitoringu BST/MW po wdrożeniu proponowanego programu obejmować będzie 23 stacji monitoringowych na obszarze całego Bałtyku, 12 istniejących stacji i 4 nowe stacje na Głębi Gdańskiej oraz 7 nowych stacji w Rynnie Słupskiej (zaproponowane w ramach PNZ dla Rynny Słupskiej).

Podział monitoringu według trybu

W zależności od wyników pozyskanych w ramach kompletnego monitoringu rozważyć należy realizację monitoringu w trzech trybach:

- monitoring rutynowy – systematyczny, o stałej częstotliwości, realizowany na wszystkich stacjach; stanowi trzon długoterminowej bazy danych,
- monitoring operacyjny – intensywny, na obszarach o potwierdzonym ryzyku (nowe stacje GG-M01–GG-M02); wymagana wyższa częstotliwość i szerszy zakres parametrów,
- monitoring specjalny (incydentalny) – uruchamiany po zdarzeniach mogących spowodować nowe uwolnienia BST/MW (działalność trałowania, podwodne eksplozje, odkrycia nowych obiektów).

Monitoring specjalny (incydentalny) uruchamiany jest w terminie do 30 dni od wystąpienia jednego z poniższych zdarzeń:

- odkrycie nowego obiektu pUXO lub AXO w polskich obszarach morskich (przez służby ratownicze, rybaków, operatorów rurociągów/kabli);
- incydent związany z podniesieniem lub uszkodzeniem amunicji przez sprzęt rybacki;
- zgłoszenie skażenia BST lub objawów toksykologicznych u rybaków lub użytkowników morza;
- podwodna eksplozja lub inna anomalia hydrologiczna wskazująca na detonację MW;
- sygnały alarmowe z systemu monitoringu dźwięku podwodnego (D11) sugerujące aktywność MW.

Zakres monitoringu specjalnego obejmuje: pobranie próbek osadów w obrębie 500 m od miejsca zdarzenia (siatka 200 m), inspekcję ROV, analizę pełnego profilu BST/MW i raportowanie w trybie pilnym do GIOŚ.

Zaleca się termin realizacji kampanii monitoringowych:

- kampania letnia (lipiec–sierpień): pobranie próbek osadów i wody przy optymalnych warunkach pogodowych na Bałtyku; inspekcje ROV;
- kampania biologiczna (październik–listopad): pobranie próbek ryb i małży po sezonie tarła; rośliny makrofitobentosowe;
- wiosna (marzec–kwiecień): opcjonalne pobranie uzupełniające na stacjach priorytetowych.

Wszystkie dane generowane w ramach Programu powinny być gromadzone w dedykowanym module krajowej bazy danych monitoringu wód morskich, zarządzanej przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) oraz HELCOM.

Raportowanie krajowe

- Raport roczny GIOŚ: zestawienie wyników kampanii monitoringowych roku poprzedniego; szacowanie ryzyka dla polskich obszarów morskich; rekomendacje dla decydentów. Termin: 31 marca każdego roku.
- Aktualizacja Programu Monitoringu Wód Morskich (co 6 lat): wyniki Programu BST/MW uwzględniane w cyklicznej aktualizacji wymaganej przez RDSM.
- Sprawozdanie do Komisji Europejskiej: co 6 lat w ramach cyklu RDSM; ocena osiągnięcia Dobrego Stanu Środowiska (GES) dla cech D8/D9.
- Informacja publiczna: streszczenia wyników Programu publikowane na stronie GIOŚ i IMGW w języku polskim i angielskim; mapy ryzyka dostępne publicznie.

Program powinien być wdrożony w trzech etapach obejmujących lata 2026–2031 (I cykl RDSM) z perspektywą kontynuacji w kolejnych 6-letnich cyklach.

Kluczowe rekomendacje

- Wdrożenie przedmiotowego programu monitoringu jako dokumentu programowego uzupełniającego Program Monitoringu Wód Morskich, z dedykowanym finansowaniem ze środków ministra właściwego ds. środowiska.
- Ustanowienie 4 nowych stacji monitoringowych w celu wypełnienia luk przestrzennych w sieci monitoringu BST/MW.
- Obligatoryjne stosowanie metody wielomarkerowej dla analiz BST i MW – wyniki jednego markera nie powinny stanowić podstawy decyzji zarządczych.
- Kontynuacja monitoringu całkowitego arsenu w rybach i małżach jako wrażliwych biowskaźników zanieczyszczenia arsenoorganicznego.
- Przeprowadzenie badań uzupełniających w rejonach wykrycia adamsytu w Głębi Gdańskiej, w celu weryfikacji wykrycia tego BST i ustalenia jego źródła.
- Opracowanie i wdrożenie planu zarządzania ryzykiem dla obszaru Głębi Gdańskiej, obejmującego rekomendacje dotyczące ograniczeń połowowych i działań na wypadek incydentów.
- Weryfikacja obiektów pUXO w Głębi Gdańskiej przez specjalistów minerów nurkujących z użyciem bardziej szczegółowej inspekcji ROV co 3 lata.
- Stosowanie standardowych procedur operacyjnych podczas pobierania próbek w rejonach prawdopodobnego zalegania broni chemicznej.
- Wykorzystanie systemów wspierania decyzji, które zostały wypracowane w ramach projektów badawczych badających problematykę broni chemicznej, konwencjonalnej wraków zatopionych w Morzu Bałtyckim.

Dalsze kierunki badań

- Badania głębokości zanurzenia amunicji w osadach dennych (pobory rdzeniowe w kluczowych lokalizacjach).
- Modelowanie numeryczne transportu zanieczyszczeń BST z prądami zawiesinowymi w Głębi Gdańskiej.
- Badania toksykologiczne *in vivo* z organizmami bentosowymi pobranymi z obszarów z pozytywnymi wynikami BST.
- Zastosowanie technik eDNA do detekcji zmian w różnorodności biologicznej bentosu w pobliżu stacji BST.

11 SZACOWANIE KOSZTÓW REKOMENDOWANYCH DZIAŁAŃ

W tabeli (Tabela 73) wskazano szacunkowe koszty rekomendowanych działań na obszarze Głębi Gdańskiej.

Tabela 73. Szacunkowe koszty rekomendowanych działań zarządczych i monitorujących (źródło: opracowanie własne)

Działanie	Szacunkowy koszt (euro)		Komentarz
Faza I uruchomienie system (2027–2030)			
2027 – Cyfrowa mapa ryzyka v1.0	120 000		Zebranie danych historycznych, standaryzacja warstw GIS, 10 kategorii zagrożeń, macierz ryzyka, walidacja ekspercka. Koszt obejmuje pracę zespołu ~6 ekspertów przez 3 miesiące + licencje GIS.
2027 – Opracowanie programu szkoleń i doposażenia w ŚOI	180 000		Opracowanie programu, materiały, szkolenia dla ~300 jednostek, zakup/dofinansowanie ŚOI (maski, kombinezony, zestawy dekontaminacyjne). Koszt na rok uruchomienia.
2027–2028 – Przygotowanie siatki monitoringu osadów i bioty + raport bazowy, przeprowadzenie monitoringu	500 000		Kampania terenowa: jednostka pływająca, pobieranie próbek osadów i bioty, analizy laboratoryjne (metale ciężkie, BST, MW, materiały wybuchowe), raport bazowy. Koszt ~20 stacji x 15 000 EUR/punkt + raport. Koszt stały roczny.
2027 – Protokół szybkiego rekonesansu dna po sztormach (T≤72h)	60 000		Opracowanie procedur, wyposażenie techniczne (łączość, sprzęt pomiarowy), testy pilotażowe protokołu. Koszt jednorazowy wdrożenia.

Działanie	Szacunkowy koszt (euro)		Komentarz
2027 – Modele dyspersji BST, MW i produktów degradacji	300 000		Budowa/kalibracja modelu hydrodynamicznego, scenariusze uwolnień, warunki Bałtyku, ocena wrażliwości, raport operacyjny. Obejmuje dane wejściowe i walidację.
2027 – 1 ćwiczenie międzysektorowe (MON/EOD, SAR, służby medyczne)	120 000		Przygotowanie scenariusza, logistyka, łączność, udział jednostek, zabezpieczenie medyczne, dokumentacja poćwiczebna.
2028 – Szkolenia (łączność alarmowa, zarządzenia porządkowe) – cel: $\geq 30\%$ więcej zgłoszeń	90 000		Szkolenia regionalne, materiały, e-learning, rejestr uczestników. Koszt roczny cyklu szkoleń.
2028 – Ćwiczenie pełnoskalowe z dekontaminacją i wsparciem medycznym	450 000		Wynajem akwenu/poligonu, sprzęt ochrony przeciwchemicznej, dekontaminacja, zabezpieczenie ratownicze i medyczne, dokumentacja. Najdroższe ćwiczenie w cyklu.
2029 – Mapa ryzyka v2.0 + zaktualizowane zalecenia operacyjne	1 400 000		Kampania geofizyczna (sonar, magnetometria), inspekcje ROV, pobieranie próbek, analizy chemiczne, interpretacja UXO/BST, integracja danych, aktualizacja mapy. Największy koszt fazy I.
2029 – Utrzymanie przeszkolenia $\geq 90\%$ + raporty roczne i komunikaty operacyjne	90 000		Szkolenia uzupełniające, aktualizacja materiałów, publikacja raportów i komunikatów.
2030 – Projekt stałych stref „no-go/caution” w prawie miejscowym	50 000		Opracowanie projektu prawnego, konsultacje, kartografia stref, procedura legislacyjna.
2030 – Mapa ryzyka v3.0	220 000		Aktualizacja na podstawie danych z 2027–2029, rekalkulacja stref ryzyka, walidacja ekspercka. Tańsza niż v2.0 – brak nowej kampanii terenowej.
2030 – Ewaluacja 3-letnia programu + decyzje o pilotażach remediacji	60 000		Zewnętrzna ewaluacja programu, analiza KPI, raport z rekomendacjami, warsztaty decyzyjne.
Faza II – skala i integracja (2031–2034) *)			
2031 – Uruchomienie centralnego repozytorium danych morskich (as-found/as-built, monitoring, zgłoszenia) + API map ryzyka zintegrowane z ECDIS + audyt jakości danych	1 200 000		Architektura systemu, integracja danych, API, kontrola dostępu, cyberbezpieczeństwo, audyt jakości i zgodności formatów (S-57, S-100). Największy koszt fazy II.

Działanie	Szacunkowy koszt (euro)		Komentarz
2032 – Pierwsze pilotaże remediacji punktowej (kapsułowanie/izolacja) na 2–3 hotspotach, w przypadku zlokalizowania obiektów niebezpiecznych	2 500 000		Najdroższe działanie fazy II. Obejmuje mobilizację jednostki specjalistycznej, ROV, materiały do kapsułowania, nadzór EOD, monitoring po remediacji. Koszt szacowany na 2–3 hotspoty.
2033 – Mapa ryzyka v3.5 z warstwami probabilistycznymi (P5–P95) i progami sztormowymi	140 000		Rozbudowa modelu o warstwy probabilistyczne i progi sztormowe. Aktualizacja „średnia”.
2033 – Standard „Rapid Recon 72h” rozszerzony o AUV/ROV autonomiczne	280 000		Zakup/dzierżawa AUV, integracja z systemem, testy operacyjne, szkolenia operatorów.
2033 – Coroczna publikacja „State of the Seabed”	50 000 / rok		Synteza danych, redakcja, tłumaczenie, publikacja i dystrybucja raportu.
2034 – E-permitting dla nurków/ROV amatorskich z geofencingiem ostrzegawczym	200 000		Budowa systemu e-permitting, integracja z mapą ryzyka, geofencing, testy i wdrożenie.
2034 – Drugi przegląd programu (5-letni) + decyzja o skalowaniu remediacji	80 000		Zewnętrzna ewaluacja 5-letnia, analiza KPI, warsztaty decyzyjne, raport.
Faza III – dojrzałość operacyjna 2035–2038 *)			
2035 – Mapa ryzyka v4.0 (integracja danych chemicznych/eDNA, sonarów, magnetometrii) + obowiązkowa telemetria prac ingerujących w dno morskie	150 000		Rozbudowa mapy o nowe warstwy danych. Koszt integracji i walidacji.
2038 – Przegląd technologiczny: wymiana czujników, wdrożenie AI do klasyfikacji anomalii, raport impact assessment remediacji pilotażowych	1 000 000		Nowa aparatura pomiarowa, algorytmy AI, testy porównawcze, walidacja z danymi referencyjnymi, raport oceny skuteczności remediacji pilotażowych.
Faza IV – targeted remediation i odporność (2039–2042) *)			
2039 – Mapa ryzyka v4.5 + modele predykcyjne (sztormy, trendy klimatyczne) + aktualizacja triggerów operacyjnych	160 000		Rozbudowa modeli o komponenty klimatyczne, aktualizacja progów decyzyjnych.
2040 – Skalowanie remediacji punktowej (sektory kolizyjne z infrastrukturą) + modernizacja zaplecza dekontaminacyjnego portów, w razie zaistnienia sytuacji niebezpiecznej	5 000 000		Największy koszt fazy IV. Remediacja punktowa w priorytetowych sektorach, modernizacja infrastruktury dekontaminacyjnej w portach. Koszt szacowany dla ~5–8 lokalizacji.

Działanie	Szacunkowy koszt (euro)		Komentarz
2042 – Mapa ryzyka v5.0 (tryb „live”: aktualizacja prawie w czasie rzeczywistym) + przegląd strategii 2043–2052	180 000		Wdrożenie trybu live, integracja z systemami telemetrycznymi, przegląd strategiczny.
Faza V – utrzymanie, automatyzacja i współdzielenie kosztów (2043–2047) *)			
2043 – Automatyzacja rekonesansów po sztormach (AUV flotylna regionalna, $\geq 90\%$ w $\leq 72h$)	3 500 000		Zakup/dzierżawa flotyli AUV, infrastruktura bazowania, systemy łączności i przetwarzania danych, szkolenia operatorów. Koszt współdzielony regionalnie.
2045 – Szkolenia i licencjonowanie użytkowników morza zintegrowane z systemem zezwoleń + egzekwowanie cyfrowe sankcji za naruszenia stref „no-go”	350 000 wdrożenie + 70 000 / rok utrzymanie		System e-learning, rejestr kompetencji, integracja z systemem zezwoleń, moduł sankcji cyfrowych.
2047 – Publikacja planu następnej dekady	40 000		Synteza doświadczeń, redakcja, konsultacje, publikacja planu strategicznego.
Faza VI – konsolidacja i niższe koszty ryzyka (2048–2052) *)			
2048 – Mapa ryzyka v5.5 (nowe sensory, warstwy reputacyjne/ekonomiczne) + kontynuacja remediacji punktowej	200 000		Modernizacja mapy, integracja nowych sensorów i warstw ekonomicznych.
2051 – Przegląd siatki monitoringu + optymalizacja częstotliwości badań + utrwalenie finansowania długoterminowego	80 000		Przegląd metodyki monitoringu, optymalizacja kosztowa, negocjacje finansowania.
2052 – Aktualizacja strategii do 2060 r. + kompendium dobrych praktyk + otwarte zbiory danych	80 000		Redakcja strategii, kompendium, przygotowanie i publikacja otwartych danych.
Faza VII – ciągłość i przekazanie następnej generacji (2053–2057)) *)			
2053 – Przegląd horyzontu ryzyka dla starzejących się instalacji offshore + aktualizacja wymagań decommissioning	90 000		Analiza ryzyka starzejącej się infrastruktury, aktualizacja wymagań prawnych i technicznych.
2056 – Program „next-gen”: standaryzacja AI, robotyki i e-permittingu + rekomendacje na kolejne 20 lat	200 000		Opracowanie standardów, pilotaże technologiczne, raport rekomendacyjny.
2057 – Mapa ryzyka v6.0 + raport końcowy cyklu 2027–2057 +	250 000		Finalna wersja mapy, raport podsumowujący 30 lat, strategia na kolejne 20 lat.

Działanie	Szacunkowy koszt (euro)		Komentarz
zatwierdzenie strategii 2058–2078			
2055 – Audyt końcowy cyklu 30-letniego: skuteczność prewencji, czas reakcji, poziom remediacji, P95 i EAL	120 000		Kompleksowy audyt zewnętrzny, analiza 30-letnich trendów, raport końcowy.
Monitoring			
Badania monitoringowe	15 500 (za jeden punkt		Jeśli w jednym dniu pracy jednostki pływającej wykonane zostaną badania większej liczby wskazanych punktów koszty będą relatywnie mniejsze. Składowe: • jednostka pływająca – 10 000 euro/dzień; • inspekcja ROV oraz pobieranie próbek osadów przy pomocy czepaka – 3000 euro/punkt; • ochrona przeciwochemiczna ludzi i sprzętu (wraz ze środkami do dekontaminacji) – 2000 euro/punkt; • analizy pobranych próbek w certyfikowanym laboratorium i opracowanie wyników – 500 euro/próbka)

**) realizacja kolejnych faz uzależniona jest od wyników fazy I i odpowiednio kolejnych faz*

Uwagi do kosztorysu działań:

- Koszty orientacyjne ROM ($\pm 30\%$), EUR netto, ceny bieżące.
- Nie obejmują wydobycia ani neutralizacji amunicji (EOD interwencyjny).
- Koszty remediacji (2032, 2040) mogą być współfinansowane przez sektor offshore i fundusze UE.
- Koszty monitoringu podane jako koszt jednostkowy – całkowity zależy od liczby punktów w kampanii.

12 STRESZCZENIE W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM

12.1 Cel opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń dla obszaru Głębi Gdańskiej został opracowany w celu uporządkowania wiedzy na temat zatopionych materiałów niebezpiecznych, które mogą zalegać na dnie tego rejonu Morza Bałtyckiego, oraz wskazania zasad dalszego postępowania. Dokument dotyczy przede wszystkim potencjalnych zagrożeń związanych z obecnością pozostałości broni chemicznej, bojowych środków trujących, amunicji konwencjonalnej, materiałów wybuchowych oraz produktów ich degradacji.

Głębia Gdańska jest jednym z obszarów, w których historycznie wskazywano możliwość występowania zatopionej amunicji i pozostałości bojowych środków trujących. Z tego względu konieczne było przeprowadzenie badań terenowych i laboratoryjnych, które pozwoliłyby lepiej rozpoznać rzeczywisty stan obszaru, ocenić poziom zagrożenia oraz wskazać, czy potrzebne są działania neutralizacyjne, czy wystarczające jest prowadzenie monitoringu i zarządzanie ryzykiem.

PNZ ma charakter analityczno-strategiczny. Jego celem nie jest samo wykonanie neutralizacji, lecz określenie, czy i w jakich warunkach takie działania byłyby uzasadnione, jakie ryzyka należy uwzględnić oraz jakie działania organizacyjne, monitoringowe i prewencyjne powinny zostać wdrożone przez właściwe instytucje.

12.2 Metodologia opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń został opracowany w dwóch komplementarnych częściach.

Część I stanowi analizę wstępną, przygotowaną na podstawie dostępnej wiedzy historycznej, archiwalnej, naukowej i technicznej. Obejmowała ona przegląd informacji dotyczących zatapiania broni chemicznej i konwencjonalnej w Morzu Bałtyckim, ze szczególnym uwzględnieniem rejonu Zatoki i Głębi Gdańskiej. Przeanalizowano również dostępne informacje o rodzajach bojowych środków trujących i materiałów wybuchowych, ich zachowaniu w środowisku morskim, możliwym wpływie na organizmy morskie oraz potencjalnych zagrożeniach dla ludzi i działalności prowadzonej na morzu.

W ramach Części I dokonano także przeglądu technologii neutralizacji i remediacji, w tym metod stosowanych wobec amunicji konwencjonalnej i chemicznej, oraz przeanalizowano przykłady działań podejmowanych w innych państwach. Uwzględniono również aspekty prawne, organizacyjne, kosztowe oraz zasady zarządzania ryzykiem.

Część II została opracowana na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych przeprowadzonych w latach 2025–2026. Badania te obejmowały rozpoznanie dna z wykorzystaniem metod geofizycznych, analizę danych sonarowych i batymetrycznych, inspekcje wizyjne z użyciem zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego ROV oraz badania laboratoryjne próbek osadów dennych. Analizy chemiczne prowadzono pod kątem obecności bojowych środków trujących, materiałów wybuchowych oraz produktów ich degradacji.

Połączenie wyników badań geofizycznych, inspekcji ROV i analiz chemicznych umożliwiło ocenę, czy na obszarze Głębi Gdańskiej występują obiekty lub substancje wymagające natychmiastowej neutralizacji, czy też właściwszym rozwiązaniem jest monitoring, dalsze rozpoznanie oraz przygotowanie procedur zarządzania ryzykiem.

12.3 Charakterystyka badanego obszaru

Obszar badań położony jest w rejonie Głębi Gdańskiej, w większości w granicach polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej, a częściowo także w granicach morza terytorialnego Rzeczypospolitej Polskiej. Znajduje się w sąsiedztwie granicy z rosyjską wyłączną strefą ekonomiczną oraz w pobliżu ważnych tras żeglugowych prowadzących do portów w Gdańsku i Gdyni, a także w kierunku Kaliningradu, Litwy i Zatoki Fińskiej.

Badany obszar obejmuje około 460 km² dna morskiego, na głębokościach od około 80 do 110 m. Dno ma w większości charakter równiny akumulacyjnej, zbudowanej głównie z osadów mulistych i mulisto-

piaszczystych. Miejscami występują wzniesienia i wybrzuszenia z osadami glacialnymi, brukiem i pojedynczymi głazami.

Obszar Głębi Gdańskiej ma znaczenie zarówno środowiskowe, jak i gospodarcze. Jest częścią akwenu wykorzystywanego przez żeglugę, rybołówstwo oraz potencjalnie inne formy działalności morskiej. Jednocześnie ze względu na historię działań wojennych i powojennego zatapiania materiałów niebezpiecznych stanowi rejon wymagający szczególnej ostrożności przy planowaniu prac ingerujących w dno morskie.

12.4 Wyniki badań i rozpoznane potencjalne zagrożenia

Badania przeprowadzone w latach 2025–2026 pozwoliły na szczegółowe rozpoznanie dna badanego obszaru. Na podstawie analizy danych sonarowych i batymetrycznych wskazano około 5500 obiektów różnego rodzaju i pochodzenia. Wśród nich zidentyfikowano 192 obiekty zaklasyfikowane jako prawdopodobne UXO, czyli potencjalne niewybuchy lub niewypały, 15 wraków, 50 skupisk szczątków oraz ponad 900 lokalizacji potencjalnych zrzutów.

Część wraków została powiązana z obiektami ujętymi w bazie SIPAM. Rozpoznane wraki i szczątki reprezentują różny stopień zachowania. Niektóre są niemal całkowicie zagłębione w osadach, inne zachowały wyraźną formę przestrzenną. W sąsiedztwie części wraków stwierdzono skupiska szczątków interpretowane jako fragmenty konstrukcji lub rozproszone elementy wyposażenia.

W ramach dalszych prac wykonano szczegółowe inspekcje wizyjne ROV w 78 lokalizacjach. Obejmowały one miejsca potencjalnych zrzutów, prawdopodobne UXO, szczątki, wraki i szczątki wraków oraz inne obiekty niezidentyfikowane. Inspekcje te umożliwiły weryfikację wyników badań geofizycznych oraz ocenę charakteru obiektów zalegających na dnie.

W ramach badań 2025–2026 przeprowadzono analizy chemiczne próbek wód przydennych oraz osadów dennych pod kątem obecności związków ropopochodnych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Uzyskane wyniki nie wskazują na występowanie aktywnych źródeł zanieczyszczeń w wodach przydennych, które można byłoby jednoznacznie powiązać ze zidentyfikowanymi obiektami antropogenicznymi, w tym wrakami. Jednocześnie badania osadów dennych potwierdziły podwyższoną zawartość węglowodorów ropopochodnych i WWA, charakterystyczną dla głębokowodnego, akumulacyjnego środowiska Głębi Gdańskiej.

W badaniach chemicznych nie wykryto obecności bojowych środków trujących ani trotylu na poziomach powyżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej. W części próbek stwierdzono jednak obecność produktów degradacji bojowych środków trujących. W 9 spośród 147 analizowanych próbek osadów dennych wykryto co najmniej jeden z analizowanych związków. Część z nich może wskazywać na obecność produktów degradacji iperytu siarkowego, a część na obecność związków arsenoorganicznych związanych m.in. z adamsytem, Clarkiem I lub mieszaniną znaną jako arsen öl.

Wykrycie produktów degradacji nie oznacza automatycznie, że dokładnie w miejscu pobrania próbki znajduje się amunicja chemiczna. Substancje te mogą być przemieszczane wraz z osadami dennymi. Wyniki badań wskazują jednak, że obszar Głębi Gdańskiej wymaga dalszej obserwacji, ponieważ nie można całkowicie wykluczyć obecności pojedynczych nierozpoznanych obiektów zawierających bojowe środki trujące lub materiały wybuchowe.

W trakcie inspekcji wizyjnych rozpoznano również elementy uzbrojenia, w tym miny kotwiczne i denne, elementy torped, amunicję artyleryjską, zasobniki oraz obiekty nierozpoznane. Zidentyfikowane obiekty znajdują się w zaawansowanym stanie degradacji. W wielu przypadkach widoczne są korozja, rozszczelnienie, ubytki elementów konstrukcyjnych oraz degradacja mechanizmów. W próbkach osadów nie wykryto materiałów wybuchowych ani produktów ich degradacji, co wskazuje, że w rozpoznanych przypadkach nie potwierdzono aktywnego zagrożenia związanego z obecnością materiałów wybuchowych.

12.5 Ocena ryzyka i rekomendowany sposób postępowania

Na podstawie wyników badań 2025–2026 nie stwierdzono zagrożeń wymagających natychmiastowych działań neutralizacyjnych. Nie potwierdzono obecności amunicji chemicznej, pojemników zawierających bojowe środki trujące ani innych obiektów, które stanowiłyby obecnie aktywne źródło zagrożenia dla środowiska morskiego. Zidentyfikowana amunicja konwencjonalna znajduje się w zaawansowanym stanie degradacji, a w badanych próbkach osadów nie wykryto materiałów wybuchowych ani produktów ich degradacji.

Obszar Głębi Gdańskiej można więc uznać za obszar o niskim do umiarkowanego ryzyku środowiskowym. Jednocześnie ze względu na obecność licznych obiektów antropogenicznych, historyczny charakter akwenu, wykrycie produktów degradacji bojowych środków trujących oraz możliwość zalegania obiektów niewidocznych pod warstwą osadu, ryzyko operacyjne dla inwestycji ingerujących w dno morskie należy ocenić jako umiarkowane do wysokiego.

PNZ nie wskazuje obecnie konieczności prowadzenia działań neutralizacyjnych. Rekomenduje natomiast wdrożenie podejścia opartego na monitoringu środowiskowym, zarządzaniu ryzykiem i przygotowaniu procedur reagowania.

W przypadku przyszłych inwestycji lub prac ingerujących w dno morskie w rejonie Głębi Gdańskiej konieczne będzie stosowanie zasady ostrożności. Oznacza to prowadzenie odpowiedniego rozpoznania przed rozpoczęciem prac, uwzględnienie ryzyka UXO i BST w dokumentacji projektowej, stosowanie procedur „stop-work” w przypadku natrafienia na obiekt niebezpieczny oraz zapewnienie współpracy z właściwymi służbami i specjalistami EOD.

12.6 Monitoring środowiska i działania organizacyjne

Plan rekomenduje wdrożenie programu monitoringu środowiskowego ukierunkowanego na bojowe środki trujące, materiały wybuchowe oraz produkty ich degradacji. Monitoring powinien obejmować przede wszystkim osady denne, a w uzasadnionych przypadkach również wodę przydenną oraz organizmy morskie. Szczególne znaczenie ma stosowanie metody wielomarkerowej, ponieważ pojedyncze wykrycie jednego związku chemicznego nie zawsze stanowi wystarczającą podstawę do jednoznacznego potwierdzenia obecności określonego bojowego środka trującego lub materiału wybuchowego.

W dokumencie zaproponowano rozszerzenie istniejącej sieci monitoringu o nowe stacje w rejonach, w których wykryto produkty degradacji BST lub gdzie występują luki w obecnym systemie obserwacji. Monitoring powinien być prowadzony w trybie rutynowym, operacyjnym oraz specjalnym. Monitoring specjalny powinien być uruchamiany w sytuacjach incydentalnych, takich jak odkrycie nowego obiektu

pUXO lub AXO, uszkodzenie amunicji przez sprzęt rybacki, zgłoszenie skażenia, nietypowa eksplozja podwodna albo inne zdarzenie mogące wskazywać na uwolnienie substancji niebezpiecznych.

PNZ zaleca również opracowanie cyfrowej mapy ryzyka, aktualizację procedur dla prac ingerujących w dno morskie, szkolenia dla rybaków i użytkowników morza, rozwijanie systemów zgłaszania incydentów oraz prowadzenie ćwiczeń międzysektorowych z udziałem administracji morskiej, służb EOD, SAR, służb medycznych i innych właściwych instytucji. Istotne jest także utrzymywanie współpracy międzynarodowej, zwłaszcza w ramach HELCOM, oraz wymiana danych dotyczących zagrożeń związanych z zatopioną amunicją i bojowymi środkami trującymi.

Podsumowując, Plan Neutralizacji Zagrożeń dla Głębi Gdańskiej wskazuje, że obecny stan rozpoznania nie uzasadnia natychmiastowych działań neutralizacyjnych, ale wymaga konsekwentnego monitoringu, ostrożności przy planowaniu prac ingerujących w dno morskie oraz przygotowania procedur reagowania na wypadek zmiany sytuacji. Najważniejszym kierunkiem dalszego postępowania jest ograniczanie ryzyka poprzez systematyczne gromadzenie danych, aktualizację oceny zagrożeń i gotowość do działań interwencyjnych w przypadku stwierdzenia aktywnego źródła zagrożenia.

13 BIBLIOGRAFIA

1. AAP-6. Słownik terminów i definicji NATO zawierający wojskowe terminy i ich definicje stosowane w NATO, NATO, 2017; <https://wcnjik.wp.mil.pl/u/AAP6PL.pdf>.
2. Amato, E., Alcaro, L., Corsi, I., Torre, C., Farchi, C., Giordano, P., Marino, G., Matiddi, M., Modena, M., Petochi, T., Pisoni, M., Sammarini, V., Nardo, M., Ricci, V., Massaro, A., Baroni, D., R.E.D. C.O.D. Project Research On Environmental Damage Caused By Chemical Ordnance Dumped At Sea. Icramistituto Centrale Per La Ricerca Scientifica E Tecnologica Applicata Al Mare, 2006; https://www.isprambiente.gov.it/public_files/REDCOD.pdf.
3. Analiza dotycząca zanieczyszczeń Morza Bałtyckiego, ze szczególnym uwzględnieniem statków zatopionych podczas I i II wojny światowej. Informacja na temat działań podjętych w związku z zanieczyszczeniami przez Parlament Europejski, Komisję Helsińską oraz rządy innych państw. Opinie i ekspertyzy. OE-364, Biuro Analiz, Dokumentacji i Korespondencji, Senat RP, 2021; <https://www.senat.gov.pl/gfx/senat/pl/senatekspertyzy/6049/plik/oe-364.pdf>.
4. Appel, D., Strehse, J.S., Martin, H.J., Maser, E., Bioaccumulation of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) and its metabolites leaking from corroded munition in transplanted blue mussels (*M. edulis*). *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 135: 1072–1078. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.08.028>.
5. Asahina, J., Shimoyama, H., Hayashi, K., Shinkai, A., Detection, Recovery, and Destruction System for Sea-Disposed Chemical Munitions: Port Kanda, Japan. *Marine Technology Society Journal*, 2009, 43(4): 116–126. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.43.4.8>.
6. Atoll, J., Atoll, K., Weapons of Mass Destruction (WMD). *Global Security*, 2011; https://www.globalsecurity.org/wmd/facility/johnston_atoll.htm.
7. Bartlett, P., Swain, C., Kinetics of Hydrolysis and Displacement Reactions of β, β' -Dichlorodiethyl Sulfide (Mustard Gas) and of β -Chloro- β'' -hydroxydiethyl Sulfide (Mustard Chlorohydrin). *Journal of the American Chemical Society*, 1949, 71(4): 1406–1415. <https://doi.org/10.1021/ja01172a076>.
8. Bełdowski, J., Pempkowiak, J., Mercury transformations in marine coastal sediments as derived from mercury concentration and speciation changes along source/sink transport pathway (Southern Baltic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 72(1–2): 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.10.007>.
9. Bełdowski, J., Potrykus, J., Szubska, M., Klusek, Z., Fabisiak, J., Michalak, J.S., Olejnik, A., Pączek, B., Popiel, S., Östin, A., Berglind, R., Olsson, U., Vanninen, P., Koskela, H., Söderström, M., Halme, M., Lastumaki, A., Lehtonen, K., Turja, R., ... Fidler, J., CHEMSEA Findings – Results from CHEMSEA Projects – Chemical Munitions Search and Assessment, 2014.
10. Burska, D., Falkowska, L., Bolałek, J., Short-term fluctuations in dissolved silicate concentrations in the Gdańsk Deep. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 1997, 26: 71–89.
11. Burska, D., Pryputniewicz, D., Falkowska, L., Stratification of particulate organic carbon and nitrogen in the Gdańsk Deep (southern Baltic Sea). *Oceanologia*, 2005, 47(2): 201–217.
12. Cichocki, A., Działalność marynarki wojennej w zakresie bezpieczeństwa transportu morskiego : metody likwidacji zagrożeń od niewybuchów podwodnych. *Autobusy : Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 2016, 17(12): 85–89.
13. Coe, J. 'Iron harvest:' A Belgian team unearths unexploded ammunition from WWI, 2023.

14. Czub, M., Kotwicki, L., Lang, T., Sanderson, H., Klusek, Z., Grabowski, M., Szubska, M., Jakacki, J., Andrzejewski, J., Rak, D., Bełdowski, J., Deep sea habitats in the chemical warfare dumping areas of the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 2018, 616–617: 1485–1497. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.10.165>.
15. Czub, M., Wpływ zatopionej broni chemicznej na ekosystem Morza Bałtyckiego – rozprawa doktorska, 2020.
16. DYNASAFE, Static Detonation Chamber, 2025; <https://dynasafe.com/demilitarization/munitions-destruction-tech/static-detonation-chamber-demilitarization/>.
17. Fabisiak, J., Zatopiona broń chemiczna a bezpieczeństwo ekologiczne morza bałtyckiego. Wydawnictwo BP, Gdynia, 2019.
18. Fauser, P., Sanderson, H., Hedegaard, R.V., Sloth, J.J., Larsen, M.M., Krongaard, T., Bossi, R., Larsen, J.B., Occurrence and sorption properties of arsenicals in marine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, 185(6): 4679–4691. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2896-2>.
19. Garnaga-Budrè, G., Wyse, E., Sabine, A., Stankevičius, A., & De Mora, S. (2007). Arsenic in sediments from the Southeastern Baltic Sea. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987), 144, 855–861. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.02.013>
20. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Standardowy Formularz Danych dla obszaru Natura 2000 PLH220032 „Zatoka Pucka i Półwysep Helski”.
21. Graca, B., Witek, Z., Burska, D., Białkowska, I., Łukawska-Matuszewska, K., Bolałek, J., Pore water phosphate and ammonia below the permanent halocline in the south-eastern Baltic Sea and their benthic fluxes under anoxic conditions. *Journal of Marine Systems*, 2006, 63(3–4): 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2006.06.003>.
22. Greenberg, M., Sexton, K., & Vearrier, D. (2015). Sea-dumped chemical weapons: Environmental risk, occupational hazard. *Clinical toxicology* (Philadelphia, Pa.), 54, 1–13. <https://doi.org/10.3109/15563650.2015.1121272>.
23. Hart, J., Looking Back: The Continuing Legacy of Old and Abandoned Chemical Weapons, 2008.
24. HELCOM, Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea. Report of the ad hoc Expert Group to Update and Review the Existing Information on Dumped Chemical Munitions in the Baltic Sea (HELCOM MUNI), 2013.
25. HELCOM, Final Report of the ad hoc Working Group on Dumped Chemical Munition (HELCOM CHEMU) to the 16th Meeting of the Helsinki Commission, Helsinki, 1995.
26. HELCOM, HELCOM Assessment on maritime activities in the Baltic Sea, 2018; <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf>.
27. HELCOM, HELCOM Thematic assessment on hazardous submerged objects in the Baltic Sea (volume 1) Warfare materials in the Baltic Sea. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission, 2025.
28. HELCOM, Maritime activity in the Baltic Sea, Helcom Maritime Assessment, 2018; <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP152.pdf>.
29. HELCOM, Report to the 16th Meeting of Helsinki Commission 8–11 March 1994 from the Ad Hoc Working Group on Dumped Chemical Munition (HELCOM CHEMU), Danish Environmental Protection Agency, 1994.

30. HELCOM, State of the Baltic Sea. Third HELCOM holistic assessment 2016–2021. Baltic Sea Environment Proceedings 194, 2023; <https://stateofthebalticsea.helcom.fi/>.
31. Hemström, P., Holmgren, K.H., Hammarström, B.E., Larsson, A., Östin, A., Identification and toxicological evaluation of cyclic sulfonium ion degradation products of sulphur mustard. Marine Environmental Research, 2020, 162: 105047. <https://doi.org/10.1016/J.MARENVRES.2020.105047>.
32. HSE, Reducing Risk Protecting People, 2001; <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3330686>
33. IATG 01.40:2021 – Glossary of Terms, Definitions and Abbreviations. UNODA, 2021.
34. Institute of Medicine, History and Analysis of Mustard Agent and Lewisite Research Programs in the United States, [w] Veterans at Risk: The Health Effects of Mustard Gas and Lewisite, C.M. Pechura, D.P. Rall (red.), National Academies Press (US), Institute of Medicine (US) Committee on the Survey of the Health Effects of Mustard Gas and Lewisite, 1993; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK236059/>.
35. Issues – Ocean Drilling: Concerned about drilling off Nova Scotia? Add military chemical, biological and weapons dumps to your concerns..., 2002; <https://atlanticalive.wordpress.com/2022/09/15/issues-ocean-drilling-concerned-about-drilling-off-nova-scotia-add-military-chemical-biological-and-weapons-dumps-to-your-concerns/>.
36. Janik, J., Siły trałowo-minowe Polskiej Marynarki Wojennej w systemie bezpieczeństwa morskiego państwa w latach 1945–1955. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, 2011, 187(4): 215–236.
37. Jankowski, A., Variability in the saline water exchange between the Baltic and the Gulf of Gdańsk by the σ -coordinate model. Oceanologia, 2003, 45(1): 81–105.
38. Jurczak, W., Fabisiak, J., 2017. Korozja amunicji zatopionej w Morzu Bałtyckim. *Journal of Konbin*, vol. 41, no. 1, pp. 237-246. <https://doi.org/10.1515/jok-2017-0012>.
39. Kapustina, M., Bubnova, E., Dudkov, I., Deep water of the Gdansk Deep (Baltic Sea): variability of hydrology and dissolved oxygen over recent decades. Regional Studies in Marine Science, 2026, 93: 104727. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104727>.
40. Karwan, H., Koncepcja wojny minowej (cz. I). Przegląd Morski, 2009, 10.
41. Kasperek, T., Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim. Europejskie Centrum Edukacyjne, 2000.
42. Katkova, M. N. (2011). Assessment of potential risk for fish consumption by population in the Baltic Sea area where chemical weapon was dumped. Russian Meteorology and Hydrology, 36(5), 324–332. <https://doi.org/10.3103/S1068373911050062>
43. Klatka, N., Zagrożenie minowe w 25 lat po wojnie. Przegląd Morski, 1971, 1.
44. Komorowski, A. (red.). Obiekty podwodne i militaria Zatoki Gdańskiej, Impuls Plus Consulting, Gdynia, 2001.
45. Kot-Wasik, A., Żukowska, B., Dąbrowska, D., Dębska, J., Pacyna, J., Namieśnik, J., Physical, Chemical, and Biological Changes in the Gulf of Gdańsk Ecosystem (Southern Baltic Sea), [w:] G.W. Ware (red.), Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 179. Springer-Verlag, New York, 2003; https://doi.org/10.1007/0-387-21731-2_1.

46. Lastumäki, A., Turja, R., Brenner, M., Vanninen, P., Niemikoski, H., Butrimavičienė, L., Stankevičiūtė, M., Lehtonen, K., Biological effects of dumped chemical weapons in the Baltic Sea: A multi-biomarker study using caged mussels at the Bornholm main dumping site. *Marine Environmental Research*, 2020, 161: 105036; <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105036>.
47. LBV 200, Instrukcja obsługi, DOCS-010, Seabotix Inc, 2013.
48. Lubecki, L., Kowalewska, G., Distribution and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in recent sediments from the Gulf of Gdańsk (SE Baltic)* Sediment pollution Sediments Hydrocarbons Risk assessment PAHs Coastal zone Baltic Gulf of Gdańsk. *Oceanologia* 2010, 52(4): 669–703.
49. Ładunek Niszczący Bojowy, wyrób 764-07/S. Opis techniczny i instrukcja użytkownika. Politechnika Gdańska, Centrum Morskich Technologii Militarnych, 2014.
50. Maclellan, N. „Cleaning up Johnston Atoll”. APSNet Special Reports, 2005; <https://nautilus.org/apsnet/cleaning-up-johnston-atoll/>.
51. Makles, A., Śliwakowski M., Broń chemiczna zatopiona w Polskiej strefie Ekonomicznej Morza Bałtyckiego a bezpieczeństwo ludzi gospodarczo wykorzystujących zasoby morza. *Biuletyn WICHiR*, 1997, 27(1).
52. Management Strategies And Technological Availabilities. Prepared for DAIMON; 2019; http://www.daimonproject.com/uploads/1/4/1/9/14191186/wp_4.1_management_strategies_final_5mar2019.pdf.
53. Matczak, M., Pardus, J., Turski, J., Witkowska, J., Zaucha, J., Michałek, M., Boniecka, H., Gajda, A., Marcinkowski, T., Olszewski, T., Gajewski, J., Raport o stanie zagospodarowania polskich obszarów morskich dla obszarów w granicach kompetencji Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni, objętych postanowieniami rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2021 r. w sprawie przyjęcia Planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000 (Dz.U. 2021 poz. 935 oraz 2022 poz. 2518). Uniwersytet Morski w Gdyni, Instytut Morski, Gdańsk, 2024.
54. Mazurek, M., Witkiewicz, Z., Popiel, S., & Sliwakowski, M. (2001). Capillary gas chromatography–atomic emission spectroscopy–mass spectrometry analysis of sulphur mustard and transformation products in a block recovered from the Baltic Sea. *Journal of chromatography. A*, 919, 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)00672-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)00672-0)
55. Medvedeva, N., Polyak, Y., Kankaanpää, H., Zaytseva, T., Microbial responses to mustard gas dumped in the Baltic Sea. *Marine Environmental Research*, 2009, 68(2): 71–81. <https://doi.org/10.1016/J.MARENVRES.2009.04.007>.
56. MIA PROJECTS, EOD's & UXO – Unexploded Ordnance and Explosive Ordnance Disposal, 2013.
57. Miętkiewicz, R., W służbie bezpieczeństwa morskiego państwa. *Przegląd Sił Zbrojnych*, 2015, 5: 94–101.
58. Missiaen, T., Söderström, M., Popescu, I., Vanninen, P., Evaluation of a chemical munition dumpsite in the Baltic Sea based on geophysical and chemical investigations. *Science of The Total Environment*, 2010, 408(17): 3536–3553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.056>.
59. Mitglied des Politburos und Sekretar des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands, Berlin, 03.10.1970, 1970.

60. Möller, G., Edfors, R., Criteria for prioritization of, future MCM-operation areas in the Baltic Sea region, 2007.
61. Neffe, S., Bełdowski, J., Fabisiak, J., Kasperek, T., Popiel, S., Raport końcowy dotyczący kwestii zawartych w decyzjach nr 23 i 24, podjętych na 1 spotkaniu Grupy Ekspertkiej dotyczącej aktualizacji i rewizji dostępnych informacji o zatopionej broni chemicznej w Morzu Bałtyckim „HELCOM MUNI 1/2010”, 2011.
62. Niemikoski, H., Sö, M., Kiljunen, H., Stin, A.O., Vanninen, P., Identification of Degradation Products of Sea-Dumped Chemical Warfare Agent-Related Phenylarsenic Chemicals in Marine Sediment. Anal. Chem., 2020, 92: 4891–4899. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b04681>.
63. Nilsson, P., Defeating the mine threat. SAAB Naval MCM, 2017.
64. NO-07-A108, Procedury działań morskich – Działania przeciwminowe. Zastosowanie niszczycieli min – MON, 2012.
65. Non-Contact, Parachute Ground (Land) Mine Type GC, parachute shrouds. Imperial War Museums; <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/30116236>.
66. Notman, M., Explosive end for Japan's second world war chemical weapons, 2014; <https://www.chemistryworld.com/news/explosive-end-for-japans-second-world-war-chemical-weapons/7449.article>.
67. Nurkowanie w celach militarnych, Niszczenie min przez nurków-minerów w działaniach przeciwminowych. Norma Obronna NO-07-A057. Ministerstwo Obrony Narodowej, 2015.
68. Nurkowanie w celach militarnych, Niszczenie przedmiotów wybuchowych i niebezpiecznych pod wodą. Norma Obronna NO-07-A058. Ministerstwo Obrony Narodowej, 2014.
69. Oczyszczanie Terenów z Przedmiotów Wybuchowych i niebezpiecznych. Podręcznik Inż. 598/2014, Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych, 2014.
70. PEO ACWA Facts, Facts: U.S. Chemical Weapons Stockpile Destruction Completion and Program. Overview, 2025.
71. Pitchfork, G., Airborne sea-mining operations in world war two. Royal Air Force Historical Society Journal, 2009, 45: 137–152.
72. PLUTON, Modułowy system ładunku kumulacyjnego kaliber 65 mm przygotowywanego przez użytkownika. Instrukcja obsługi. PL-D600-02-Wydanie 2, Alford Technologies, 2015.
73. Popiel, S., Witkiewicz, Z., Szewczuk, A., The GC/AED studies on the reactions of sulfur mustard with oxidants. Journal of Hazardous Materials, 2005, 123(1–3): 94–111. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2005.02.018>.
74. Position Paper on the Chemical Weapons Abandoned by Japan in China. Embassy of the People's Republic of China in the Kingdom of the Netherlands, 2023; https://nl.china-embassy.gov.cn/eng/OPCW/202303/t20230327_11049870.htm.
75. Ross, D., Government won't remove thousands of tons of potentially toxic chemical weapons dumped off US coasts, 2017; <https://underwatermunitions.org/2017/10/17/government-wont-remove-thousands-of-tons-of-potentially-toxic-chemical-weapons-dumped-off-us-coasts/>.
76. Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 21 czerwca 2012 r. w sprawie warunków bezpieczeństwa wykonywania prac podwodnych w jednostkach organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez Ministra Obrony Narodowej (t.j. Dz.U. 2021 poz. 1377).

77. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2021 r. w sprawie przyjęcia planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000 (Dz.U. 2021 poz. 935).
78. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 26 września 2023 r. w sprawie oczyszczania terenów z materiałów wybuchowych i niebezpiecznych (Dz.U. 2023 poz. 2286).
79. Rubiano, M.P.A., The ocean is a giant dump for chemical weapons. Can we clean it up before it's too late? Popular Science Logo, 2021; <https://www.popsci.com/story/environment/chemical-weapons-dumped-in-ocean/>.
80. Şahin, M., Dereli, C., Thermal methods in chemical weapon destruction and computer modeling of plasma technology. Politeknik Dergisi, 2022, 25(4): 1799–1808. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1109423>.
81. Sanderson, H., Fauser, P., Environmental Assessments Of Sea Dumped Chemical Warfare Agents. CWA Report. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 174, 2015; <https://dce2.au.dk/pub/sr174.pdf>.
82. Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Vanninen, P., Soderstrom, M., Savin, Y., Khalikov, I., Hirvonen, A., Niiranen, S., Missiaen, T., Gress, A., Borodin, P., Medvedeva, N., Polyak, Y., Paka, V., Zhurbas, V., Feller, P., Environmental Hazards of Sea-Dumped Chemical Weapons. Environmental Science & Technology, 2010, 44(12): 4389–4394. <https://doi.org/10.1021/es903472a>.
83. Scharsack, J. P., Koske, D., Straumer, K., Kammann, U., Effects of climate change on marine dumped munitions and possible consequence for inhabiting biota. Environmental Sciences Europe, 2021, 33(102). <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00537-4>.
84. Smith, C., RAF Bomber Command Gardening Operations during the Second World War, 2016; <https://www.lancaster-ed559.co.uk/raf-gardening-operations-during-the-second-world-war.html>.
85. Söderström, M., Östin, A., Qvarnström, J., Magnusson, R., Rattfelt-Nyholm, J., Vaher, M., Jöul, P., Lees, H., Kaljurand, M., Szubska, M., Vanninen, P., & Bełdowski, J. (2018). Chemical Analysis of Dumped Chemical Warfare Agents During the MODUM Project. In J. Bełdowski, R. Been, & E. K. Turmus (Eds.), *Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM) A Study of Chemical Munitions Dumpsites in the Baltic Sea*. Springer. <http://www.nato.int/science>
86. Surikov T.,B., How to Save the Baltics from Ecological Disaster, [w:] A.V. Kaffka (red.), *Sea Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions*. NATO ASI Series Kluwer Academic Publishers, 1996: 67–70.
87. System OPM Głuptak, wyrób 764. Instrukcja użytkownika. Politechnika Gdańska, Centrum Morskich Technologii Militarnych, 2019.
88. System OPM pk. Głuptak, wyrób 764. Opis techniczny. Politechnika Gdańska, Centrum Morskich Technologii Militarnych, 2019.
89. Szajna, S., Rozminowanie Morza Bałtyckiego w strefie odpowiedzialności Polski w latach 1946–1956. Biuletyn Historyczny, 1975.
90. Szarejko, A., Namieśnik, J., The Baltic Sea as a dumping site of chemical munitions and chemical warfare agents. Chemistry and Ecology, 2009, 25(1): 13–26. <https://doi.org/10.1080/02757540802657177>.

91. Szczerkowski, W., Rozminowanie wód Bałtyku w strefie odpowiedzialności Polski. Przegląd Morski, 1965, 9.
92. Vanninen, P., Östin, A., Bełdowski, J., Pedersen, E.A., Söderström, M., Szubska, M., Grabowski, M., Siedlewicz, G., Czub, M., Popiel, S., Nawała, J., Dziedzic, D., Jakacki, J., Pączek, B., Exposure status of sea-dumped chemical warfare agents in the Baltic Sea. Marine Environmental Research, 2020, 161: 105112. <https://doi.org/10.1016/J.MARENRES.2020.105112>.
93. VULCAN, Modułowy system ładunku kumulacyjnego przygotowywanego przez użytkownika. Instrukcja obsługi. VU-D600-03, Alford Technologies, 2014.
94. Waśko Z., Rozminowanie wybrzeża przez Marynarkę Wojenną w latach 1945-1956, Biuletyn Historyczny, nr. 5, 1974, s. 136-169.
95. Wikstrom, J., Criteria for prioritizing, and prioritization of, future MCM – operation in the Baltic Sea region. BOSB Conference, 4th Naval Warfare Flotilla Swedish Armed Forces, Sztokholm, 2007.
96. Wytyczne Nr 18 Szefa Zarządu Inżynierii Wojskowej – Zastępcy Inspektora Rodzajów Wojsk DGRSZ, „W sprawie oczyszczania terenów z materiałów wybuchowych i niebezpiecznych pochodzenia wojskowego. Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych, 2014.
97. Zanders, J.P., The destruction of old chemical munitions in Belgium, [w:] T. Stock, K. Lohs (red.), The Challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes. Stockholm International Peace Research Institute, 1997: 197–230. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198291909.003.0015>.
98. Zdalnie sterowany pojazd ROV V8-M500. Instrukcja użytkownika. Wersja dokumentu 2.0/2025. Enamor, Ocean Modules Sweden AB, 2025.
99. Жирнов, Е., Дело о пропавшей отраве Гитлера. Коммерсантъ Деньги, 2012, 44; <https://www.kommersant.ru/doc/2045823>.